



Agraria

Vol. 10, núm. 3, septiembre-diciembre, 2013 • ISSN 0186 8063



Universidad
Autónoma Agraria
Antonio Narro





Revista científica de la Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro, vol. 10, núm. 3, septiembre-diciembre, 2013.

Centéotl, deidad azteca de la agricultura, es una advocación de Chicomecóatl, diosa del maíz. La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en su afán de rescatar los valores del pasado histórico de México, la ha adoptado como logotipo de su revista científica, como símbolo que evoca y reafirma nuestras raíces culturales.

COMITÉ EDITORIAL

Editor en Jefe
Miguel A. Capó Arteaga

Editor Ejecutivo
Jesús Valdés Reyna

Editor Asociado
José Hugo Rancaño Arrijoa

EDITORES TÉCNICOS

Fitomejoramiento, Unidad Laguna
José Puente Manríquez

Riego y drenaje
Raúl Rodríguez García

Producción animal
Jesús M. Fuentes Rodríguez

Redacción científica en inglés
Érika Patricia Carrizales Ruiz

Apoyo
Alma Rosa Ortiz Gámez

Edición
Delirio. Servicios Editoriales



Diseño y formación
Rebeca Ramírez

Cuidado de la edición
Anastasia Rodríguez

Portada: Lechones de las razas Hampshire y Yorkshire, crías de cerdas alimentadas con dietas basadas en sorgo y soya enriquecidas con zinc orgánico durante el último tercio de la gestación.

Fotografía: Hugo Rancaño

Rector

Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo

Secretario General

Ing. Lorenzo Castro Gómez

Director General Académico

Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

Director de Investigación

M. C. Alfredo Sánchez López

Subdirector de Programación y Evaluación

Dr. Alfredo de la Rosa Loera

Subdirector de Operación de Proyectos

M. C. José A. Nájera Castro

Subdirector de Investigación en la Unidad Laguna

Dr. Armando Espinoza Banda

Agraria está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA (de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México D. F.); y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS).

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México.
<http://www.uaaan.mx/agraria/>
E-mail: agraria_ne@uaaan.mx
Tel. +52 (844) 411 02 12 y 411 02 80, ext. 2003. Fax +52 (844) 411 02 11

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de la institución editora de la publicación.

Se autoriza la reproducción de artículos si se cita la fuente.

Agraria, vol. 10, núm. 3, septiembre-diciembre, 2013, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a través de la Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México. <http://www.uaaan.mx/agraria/> E-mail: agraria_ne@uaaan.mx Tels. +52 (844) 411 02 12 y 411 02 80, ext. 2003. Fax: +52 (844) 411 02 11. Editor responsable: José Hugo Rancaño Arrijoa. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título (en trámite); ISSN 0186-8063, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título: en trámite. Certificado de Licitud de Contenido: en trámite, que otorga la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa en Digital Color: Arteaga Norte núm. 225, zona centro, C.P. 25000, Saltillo, Coah. Tel. +52 (844) 481 58 42. Este volumen se terminó de imprimir en agosto de 2013, y consta de 200 ejemplares.

CONTENIDO

PÁGINA

89

Análisis de los atributos químicos de poblaciones de maíz criollo
Analysis of Chemical Attributes in Maize Landrace Populations
Ezequiel Oviedo-Campos, Norma Angélica Ruiz-Torres, Juan José López-González, Hilda Cecilia Burciaga-Dávila

97

Modificaciones inducidas por la instalación de sistemas abiertos sobre potencial hídrico del tallo y conductancia de hoja en vid y durazno
Induced Modifications by the Installation of Open Systems on Stem Water Potential and Leaf Conductance in Grapevine and Peach
Víctor Manuel Reyes-Salas, Fabiola Aureoles-Rodríguez, Juan José Galván-Luna, Joan Girona i Gomís, Jordi Marsal-Vila

109

Resistencia helmíntica de ovinos Katahdin y Pelibuey en Villacorzo, Chiapas, México
Helminths Resistance of Sheep Katahdin y Pelibuey in Villacorzo, Chiapas, Mexico
Fernando Ruiz-Zárata, Fabio Cruz-Velázquez, Armando Jacinto Aguilar-Caballero, Raquel Olivas-Salazar, Ramiro López-Trujillo, Glafiro Torres-Hernández, Alfredo Cuéllar-Ordaz

115

Evaluación productiva de cerdas vientre suplementadas con zinc en el último tercio de gestación
Productive Evaluation of Sows Supplemented with Zinc in the Last Third of Gestation
Ramón Florencio García-Castillo, Mayra Gabriela Jaime-Torres, Antonio Valdez-Oyervides, Jaime Salinas-Chavira, Juan David Hernández-Bustamante, Jorge Ramsy Kawas-Garza

119

Un criterio integral de causalidad para procesos autorregresivos y de promedios móviles
An Integral Causality Criterion for Autoregressive and Moving average Processes
Julio César Chacón Hernández

Análisis de los atributos químicos de poblaciones de maíz criollo

Analysis of Chemical Attributes in Maize Landrace Populations

Ezequiel Oviedo-Campos^{1*}, Norma Angélica Ruiz-Torres¹,
Juan José López-González², Hilda Cecilia Burciaga-Dávila¹

¹Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Granos y Semillas, ²Departamento de Recursos Naturales Renovables. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: juniors_82@hotmail.com [*Autor responsable].

RESUMEN

El manejo agronómico y condiciones ambientales específicas donde se producen los granos interfieren con el contenido de nutrientes. En este estudio se evaluó la calidad química de 90 poblaciones de maíz criollo, colectadas en 23 municipios en el estado de Coahuila en 2008. Se determinó contenido de proteína, almidón, aceite y fenoles libres. El contenido de fenoles libres presentó un rango de 4.46 en las colectas de Sacramento a 9.48% en las de Candela. El contenido de proteína varió de 9.12 a 12.66% en las colectas de Ocampo y Juárez, respectivamente, con un valor medio de 10.04%. Las colectas de Zaragoza mostraron el más alto contenido de aceite (5.46%), la media de las colectas fue de 4.83%. Las colectas de Juárez presentaron 80.66% de almidón, que es el componente que se encuentra en mayor proporción, mientras que las colectas de Candela sólo alcanzaron 62.50. Los resultados indican que las colectas del municipio de Juárez presentan mayor calidad química en contenido de proteína y almidón, del mismo modo un alto contenido de aceites (5.28%). Las colectas del municipio de Ocampo fueron las más pobres en contenido de proteína (9.12%) y de aceite con 4.31%, que apenas supera a las colectas de Frontera, que obtuvieron el contenido más bajo de todas las colectas con 4.12%. La calidad química de la semilla está determinada por la composición genética de cada material, los ambientes de colecta y por las condiciones de manejo agronómico.

Palabras clave: *Zea mays* L., poblaciones criollas, proteína, almidón, aceites, fenoles libres.

ABSTRACT

The agronomic and environmental conditions which produce grains interfere with nutrient content. In this study we evaluated the chemical quality of 90 landrace populations collected in 23 municipalities in the state of Coahuila, México in 2008. Protein content, starch, oil and free phenols were determined. The free phenol content presented a range of 4.46 in the collections from Sacramento to 9.48% in Candela. The protein content ranged from 9.12 to 12.66% in the collections of Ocampo and Juarez, respectively, with a mean value of 10.04%. The collections of Zaragoza showed the highest oil content (5.46%) the average of collections was 4.83%. The collections of Juarez presented an 80.66% starch, which is the component found in greater proportion, while Candela's collections reached only 62.50. The results indicate that the collections of the municipality of Juarez have higher chemical quality of protein and starch content in the same way a high oil content (5.28%). The collections of the municipality of Ocampo were the poorest in protein content (9.12%) and oil content of 4.31%, which is just over the collections of Frontera that obtained the lowest content of all collections with 4.12%. The chemical quality of the seed is determined by the genetic composition of each material, the collection environments and the agronomic conditions.

Key words: *Zea mays* L., landrace populations, protein, starch, oil, free phenols.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal que más se produce y consume a nivel mundial; Estados Unidos de Norteamérica es el principal productor, seguido por China y Brasil; México ocupa la cuarta posición (FAO, 2008).

Es el cultivo más importante en la agricultura de México, al servir como materia prima proveedora de alimentos para la población, gracias a la gran versatilidad de subproductos que de él se obtienen.

Según cifras del SIAP (2010), en México se sembraron 7'726,109.60 ha de maíz al cierre del ciclo agrícola 2009, y se obtuvo una producción de 20'142,815.76 toneladas. Destacando los estados de Sinaloa, con 26%; Jalisco, 12.6%; Estado de México, 6.5%; Chiapas, 6.0%, y Michoacán, con 5.9% de la producción. Del total de la superficie sembrada, 81.7% es de temporal, y se utilizan variedades criollas como fuente de semilla.

La semilla de maíz consta de endospermo, embrión y pericarpio, ellos ocupan, respectivamente, 82, 12 y 6% de la semilla entera. Los componentes nutricionales del grano, en materia seca, se encuentran distribuidos de la siguiente forma: almidón, 72.4%; aceite o lípidos, 4.7%; proteína, 9.6%; fibra, 9.9%; azúcares, 1.9%, y cenizas, 1.4% (Reyes, 1990).

Para Copeland y McDonald (2001) es esencial conocer la composición química de la semilla por varias razones: son fuente de alimento para humanos y animales, ingrediente en la formulación de medicinas y drogas, contiene metabolitos anti nutricionales, son materia prima de productos industriales y, por último, contiene reservas y sustancias de crecimiento que influyen en la germinación y vigor de plántulas, almacenamiento y longevidad. Los mismos autores afirman que la composición química está determinada sobre todo por factores genéticos, y varía entre especies y partes de la semilla; sin embargo, se ve influida por prácticas culturales y por el ambiente.

Las proteínas son compuestos orgánicos formados por cadenas de hasta 20 aminoácidos, y aquellos que nuestro organismo no puede sintetizar y son requeridos forzosamente a tomar de los alimentos que se conocen como aminoácidos esenciales; en nuestro país, la principal fuente de proteínas es el maíz (Baduí, 2006).

La proteína de los cereales es de bajo valor nutricional al ser comparada con la proteína de origen animal. Esta deficiencia es el resultado de un desba-

lance de aminoácidos y de un bajo contenido proteico (Azevedo *et al.*, 2006). Las prolaminas (zeínas) son las principales proteínas de reserva del grano de maíz, que se localizan principalmente en el endospermo (Sánchez *et al.*, 2007).

El maíz tiene un alto valor nutritivo como fuente de energía por su gran contenido de carbohidratos presentes en forma de almidón, en la mayoría de los cereales es el principal componente químico; en el grano entero de maíz, el almidón representa 72.4%, y es utilizado en la industria como materia prima de diversos productos alimenticios para mejorar funcionalidades específicas (Bello y Paredes, 2009). Según Baduí (2006) en el almidón, del 17 al 27% es amilosa, el resto es amilopectina. Los granos de los cereales tienen muy pocos azúcares libres, del 1 al 3% del peso aproximadamente, se encuentran en el germen y en las capas de salvado principalmente.

Los aceites o lípidos son nutrientes importantes en la dieta humana, fuente de energía concentrada, que aportan alrededor de 9 kcal g⁻¹, contra las 4 kcal g⁻¹ que aportan las proteínas y los carbohidratos (Lawson, 1994). Del total de aceites contenidos en el grano de maíz, 14% son ácidos grasos omega-3, 60% omega-6, 1% son ácidos grasos saturados y el restante 25% ácidos grasos monoinsaturados, los omega-3 y 6 ayudan a mantener bajos los niveles de colesterol LDL, llamado comúnmente como colesterol malo en la sangre, y son de importancia en el crecimiento infantil y desarrollo neurológico (Ronayne, 2000).

El grano entero de maíz contiene de 3 a 5% de aceite, del cual 25 al 30% se localiza en el germen (Duffus y Slaughter, 1985), este hecho lo confirman Vázquez *et al.* (2010), quienes al evaluar 26 maíces criollos del Valle del Mezquital, Hidalgo, encontraron que el mayor porcentaje de germen se relaciona con el mayor contenido de aceite.

La calidad del aceite y el contenido están determinados por factores como manejo agronómico, climático y almacén (Hernández *et al.*, 2009). En un análisis del contenido de aceites en 45 colectas de maíz criollo del estado de Nayarit, México, Vidal *et al.* (2008) encontraron valores desde 2.3 hasta 6% de aceite en grano entero.

Los fenoles libres son compuestos químicos, resultado del metabolismo secundario de las plantas; Cabrera *et al.* (2009) mencionan que la función de éstos es la defensa ante el ataque de insectos en las plantas, además poseen propiedades antioxidantes, antimutagénicos y anticancerígenos, que se concentran en mayor proporción en el germen y que entre

más cremoso es el pericarpio del grano existe mayor contenido de fenoles libres.

Ortega *et al.* (2001) mencionan que el manejo agronómico y condiciones ambientales específicas donde se producen los granos interfieren con el contenido de nutrientes. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad química, expresada en contenido de proteína, almidón, aceite y fenoles libres, de 90 poblaciones de maíz criollo, colectadas en 23 municipios en el estado de Coahuila, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 90 poblaciones criollas de maíz colectadas en 23 municipios del estado de Coahuila, en el año 2008, por investigadores del Programa de Recursos Fitogenéticos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El estudio fue realizado en el Laboratorio de Tejido Vegetal y Suelo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en El Batán, Estado de México. Se determinaron los componentes químicos en grano de acuerdo con los protocolos de Laboratorio del CIMMYT en 2008.

Determinación de nitrógeno

Se utilizó el Método Industrial #334-74, 1977 desarrollado para el Autoanalizador Technicon II (Technicon Autoanalyzer II). La determinación de nitrógeno se basa en un método colorimétrico en el que el color verde esmeralda está formado por la reacción de salicilato e hipoclorito con amoníaco.

Digestión

Se pesaron 40 mg de cada muestra (previamente molida y desengrasada) y se transfirieron a tubos de digestión, se incluyeron dos tubos sin muestra, se añadió a cada tubo 2 g de la mezcla de catalizadores y 2.5 mL de concentrado de ácido sulfúrico. Se dejó reposar y posteriormente se llevó a cabo la digestión en un bloque digestor previamente calentado a 380 °C durante 90 min.

Análisis de la muestra

Se retiró la rejilla de tubos del digestor para que se enfriaran a temperatura ambiente y se añadieron 75 mL de agua destilada. Después de verificar que la solución estuvo totalmente clara se cerraron los tubos herméticamente y se mezclaron. Se pasaron 2 mL de la solución a viales Technicon y se colocaron las muestras en el autoanalizador.

Se estableció la línea de bombeo para cada uno de los cuatro reactivos. Se fijó a 0% en la gráfica usando la solución de digestión blanco, se leyeron cuatro viales de solución de digestión blanco y se revisó que estuvieran a 0% de la línea base. Posteriormente, se leyeron cuatro viales de 20 mg N mL⁻¹ y se ajustó al nivel pico en 70% en la gráfica.

Cálculo del porcentaje de nitrógeno

20 µg N mL⁻¹ es el 70% en la gráfica.

Donde:

- 1% en la gráfica = 0.2857 µg N mL⁻¹ en digestión
µg N mL⁻¹ en digestión = por ciento de lectura x 0.2857 µg N mL⁻¹
- 0 µg N en 75 mL en digestión = por ciento de lectura x 0.2857 µ x 75

$$\text{Cálculo del factor} = \frac{20 \mu\text{g N /mL}}{\text{Divisiones de la gráfica} \times 100}$$

x volumen de digestion x 100%

$$\text{N \%} = \frac{2.1427 \times \text{lectura}}{\text{Peso de la muestra (mg)}}$$

Determinación de proteína

Por lo tanto, la proteína se estimó a partir de nitrógeno, y el cálculo del valor en el caso del maíz es: por ciento de proteína = por ciento de nitrógeno x 6.25 (factor de conversión para el maíz).

Determinación de almidón total

La determinación de almidón por el método Megazyme se llevó a cabo mediante una digestión enzimática para extraer el polímero. En el ensayo, la hidrólisis de almidón se realizó en dos fases. En la primera fase, el almidón fue parcialmente hidrolizado y solubilizado; en la segunda, las dextrinas del almidón fueron hidrolizadas a glucosa por la acción enzimática con amiloglucosidasa. La glucosa se cuantificó colorimétricamente usando reactivo de Antrona.

Para cada genotipo se pesaron 20 mg (muestra molida y desengrasada), se colocó en tubo de vidrio (20 x 15 mm). Se incluyeron dos tubos con el estándar de almidón y se humedeció con 40 µL de etanol líquido (80% v:v) para mejorar la dispersión, se reposó durante 5 min y se mezcló en un vórtex. Inmediatamente se agregaron 600 µL de α-amilasa en amortiguador MOPS (50 µM, pH 7.0) y se agitó

vigorosamente el tubo en un vórtex. Se incubó a baño maría durante 6 min (se agitaron vigorosamente en forma alterna 2 y 4 min).

Nuevamente se colocaron en baño maría a 50 °C (se dejó enfriar durante 5 min); se agregó el amortiguador de acetato de sodio (800 µL, 200 mm, pH 4.5), seguido de amilogucosidasa (20 µL, con una pipeta digital). Se agitó el tubo con un vórtex y se incubó a 50 °C por 30 min. Se transfirió el contenido a un tubo Corning plástico de 50 mL para centrifugar a 3000 rpm durante 10 min. Se tomó 1 mL de sobrenadante y cuidadosamente se transfirió a un tubo de vidrio (20*150 mm). Finalmente se agregaron 9 mL de agua desionizada, se cubrieron y se agitaron en vórtex.

Reacción calorimétrica

Con una pipeta digital se tomaron 50 µL de dilución y se transfirieron a una placa con 96 pocillos que se mantuvo sobre hielo. Se agregaron 100 µL de la solución de Antrona usando una pipeta multicanal digital, se cubrió la microplaca con papel aluminio para evitar derramar las muestras y se agitó suavemente en vórtex hasta que se observó una solución homogénea en cada pozo. La microplaca se incubó a 100 °C durante 10 min. Por último, las microplacas se enfriaron en un refrigerador por 10 min y después se agitó en vórtex antes de leer la absorbancia a 630 nanómetros (nm) en un espectrofotómetro.

Se determinó la ecuación de regresión, relacionando la concentración de glucosa en la solución estándar a la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro.

La fórmula de regresión es: $Y_g = b(x)$

Donde:

Y_g son las unidades de absorbancia 630 nm,

b es la pendiente,

x es la concentración de glucosa.

Se calculó la cantidad de glucosa en la muestra, primero restando el valor del blanco a la lectura de absorbancia de la muestra, y segundo dividiendo la absorbancia corregida por la pendiente. La ecuación general para calcular la cantidad del por ciento de glucosa es:

$$\text{Almidón (mg/100 mg) de harina} = x d_f v h_f^* 100 / d_w$$

Donde:

x es la concentración de glucosa (mg mL⁻¹);

d es el factor de dilución (ej. 10 para una dilución 1:9);

v es el volumen original del extracto de almidón (20 mL);

d_w es el peso original de la harina (20 mg), y

h es el factor de hidrólisis del almidón.

Para expresar los resultados como por ciento del peso seco, el contenido de humedad tiene que ser considerado usando la siguiente fórmula:

$$\text{Almidón (\%)} = (\text{valor}) \times (100) / (100 - \text{contenido de humedad (\% w:w)})$$

Estimación de contenidos fenólicos libres en maíz utilizando reactivo Folin-Ciocalteu

El ensayo se basa en la transferencia de electrones en el medio alcalino de compuestos fenólicos a complejos ácidos fosfomolibdico-fosfotungstico, que son determinados espectroscópicamente a 765 nm. Este ensayo se realizó en tubos de microcentrifuga y la determinación se realizó en un lector de placa de 96 pocillos.

Extracción de fenoles libres solubles

Para cada muestra se pesaron 20 mg de polvo en un tubo Eppendorf. Se añadió 1.3 mL de metanol al 50% y el tubo se cerró para evitar la evaporación, que tendrá lugar durante la extracción. Se agitó en un termo mezclador para microtubos a 65 °C y 900 rpm durante 30 min, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente para centrifugar a 14,000 rpm durante 5 min.

Finalmente se hizo la reacción colorimétrica tomando 50 µL de sobrenadante y se transfirió a una microplaca, se añadieron 40 µL de reactivo Folin-Ciocalteu, después 110 µL de carbonato de sodio (Na₂CO₃) y se cubrió con cinta adhesiva de aluminio para evitar derramar muestras. Se agitó en vórtex a 800 rpm durante 10 s y se incubó a 42 °C por 9 min para el desarrollo del color.

Se tomó la microplaca de la estufa y se dejó enfriar al ambiente, protegiéndola de la luz. Se obtuvieron lecturas de absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro.

La cantidad de ácido gálico (AG) para cada muestra se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{AG (\%)} = \frac{\text{OD}_{765\text{nm}} \times \text{Volumen de hidrólisis}}{\text{Pendiente} \times \text{Peso de la muestra}} \times 100\%$$

$$\text{AG (\mu g/mL)} = \frac{0.345}{0.0155\text{OD}/\mu\text{g/mL}} \times \frac{1.3 \text{ mL}}{20000} \times 100\%$$

Sin embargo, esta cantidad incluye la absorbancia de la placa y el metanol. Para calcular el contenido de ácido gálico del material biológico (polvo de grano) debe restarse el valor de la absorbancia de la placa y el metanol.

Por ciento de ácido gálico = $\frac{OD_{765nm \text{ corregido}}}{\text{Factor}}$

Donde:

$OD = 765nm \text{ corregido} = OD_{765nm \text{ muestra}} - OD_{765nm \text{ promedio del metanol blanco.}}$

OD= Observancia directa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran diferencias estadísticas entre colectas únicamente para fenoles libres ($p \leq 0.01$), atribuibles a la gran diversidad y variabilidad genética. Cabrera *et al.* (2009) mencionan que existe una relación con el color del grano por la presencia de antocianinas asociadas con el contenido de fenoles, y que cuando se analizan muestras contrastantes en color de grano y zonas de producción la variabilidad en el contenido de compuestos fenólicos es elevada. Esto se vio reflejado en este estudio, ya que la variabilidad genética es alta y los ambientes de producción son muy diversos y contrastantes.

En las medias para proteína (Cuadro 2), las colectas del municipio de Juárez tienen un contenido en promedio de 12.66%, valor mayor al reportado por Vidal *et al.* (2008) para 45 colectas de maíces criollos de la sierra de Nayarit, donde el valor más alto fue de 12.0%. Por su parte, Vázquez *et al.* (2010) encontraron como valor máximo 12.5% de proteína en un estudio de 26 maíces criollos del Valle del Mezquital, Hidalgo. Pérez (2006), al analizar maíces criollos cultivados en diferentes ambientes, reportó

valores de 9.92% para poblaciones originales y de 12.53% en poblaciones incrementadas, a las cuales se les aplicó fertilizante, y estuvieron bajo mejores condiciones de manejo agronómico. Zepeda *et al.* (2010) al aplicar diferentes dosis de fertirrigación a 10 híbridos simples adaptados a Valles Altos centrales de México, obtuvieron un valor de 11.5% de proteína en grano, por último resaltar que 43% de los materiales de este estudio superaron el valor de 10.5% de proteína reportado por Vázquez *et al.* (2003) para 40 maíces criollos originales y 70 retrocruzas.

Esto nos indica que en el estado de Coahuila, el maíz aporta buena cantidad de proteína, lo anterior considerando que la mayoría de los agricultores no fertilizan sus parcelas. El contenido alto en proteína es derivado por lo general de la fertilización nitrogenada del cultivo (Coutiño *et al.*, 2008).

Para contenido de aceite en grano los valores difieren en fracciones porcentuales. En el Cuadro 2 se indica el rango numérico para contenido de aceite por municipio de colecta, con valores que van de 4.12 a 5.46%. Coutiño *et al.* (2008) reportan un valor promedio de 4.9% para variedades de maíz Comiteco, por el contrario Vidal *et al.* (2008) citan contenidos de 5.3% para la misma raza; sin embargo, reporta 7.6 para el maíz criollo Dulce 9 de Jalisco.

En otro estudio, Méndez *et al.* (2005) encontraron 7.0% de aceite en el maíz criollo Acatlán, y sugiere su uso para la elaboración de tortillas por la interacción con el almidón; al respecto, Narváez *et al.* (2007) mencionan que razas con gránulos pequeños de almidón en la porción suave de endospermo tienen alto contenido de lípidos totales.

El contenido de aceite está directamente relacionado con el tamaño del germen del grano (Vázquez *et al.*, 2010). En este contexto, Dudley *et al.* (2004) concluyen que la selección para incrementar el contenido de aceite en el grano de maíz, tiende a

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para los componentes químicos.

FV	GL	Proteína (%)	Aceite (%)	Almidón (%)	Fenoles libres (%)
Colectas	22	2.44 ns	0.23 ns	33.79 ns	1.89 *
Error	67	1.82	0.21	26.82	0.85
CV (%)		13.46	9.54	7.17	16.01

ns = no significativo; *, ** = Significativo a una $p < 0.05$ o 0.01 , respectivamente.

Cuadro 2. Comparación de medias por colecta para componentes químicos.

	Proteína [%]	Aceite [%]	Almidón [%]	Fenoles libres [%]
Juárez	12.66	5.28	80.66	5.32 b
Frontera	12.48	4.12	76.30	6.21 ab
Jiménez	11.64	4.60	71.08	6.15 ab
San Pedro	11.60	5.15	73.69	5.76 b
Monclova	11.02	5.23	73.59	4.98 b
Lamadrid	10.89	5.25	64.96	4.81 b
Torreón	10.88	5.04	67.62	4.78 b
Viesca	10.84	4.80	80.08	5.02 b
Abasolo	10.83	4.60	78.19	4.86 b
Sacramento	10.52	4.88	70.94	4.46 b
Zaragoza	10.39	5.46	69.48	5.34 b
Ramos Arizpe	10.12	4.83	73.53	5.63 b
Cuatro Ciénagas	10.11	5.19	74.18	5.51 b
Castaños	10.03	4.62	69.43	5.90 ab
General Cepeda	9.81	4.73	72.29	5.54 c
Villa Unión	9.74	4.69	70.08	6.60 ab
San Buenaventura	9.61	4.44	76.67	5.36 b
Arteaga	9.60	4.91	71.03	5.73 b
Nadadores	9.60	4.42	70.83	5.36 b
Saltillo	9.42	4.66	72.04	5.87 b
Parras	9.36	4.86	72.55	6.11 ab
Candela	9.29	4.74	62.50	9.48 a
Ocampo	9.12	4.31	72.13	6.60 ab
Media General	10.04	4.83	72.14	5.76

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales.

reducir el contenido de almidón, y esto a su vez provoca un ligero incremento en la cantidad de proteína.

Por último, las variaciones en contenido de aceite son debidas a la diversidad de genotipos particulares, manejo agronómico y condiciones ambientales diversas (Ortega *et al.*, 2001).

En relación con el contenido de almidón, el promedio fue de 72.14% siendo las colectas del municipio de Juárez las que presentaron el mayor porcentaje con 80.66, valor aproximado al encontrado por Méndez *et al.* (2005), quienes reportan valores de 69 a 86%, siendo un híbrido el que registró el valor más alto. Sánchez *et al.* (2007) documentan contenidos de 73 a 77% de almidón, y reconocen que la cantidad

y tipo de almidón ejerce una influencia importante en la textura de la tortilla, de aquí la importancia de su caracterización.

Por otra parte, Narváez *et al.* (2007) profundizan estudiando el tamaño del gránulo de almidón relacionado con la dureza del grano, y concluyen en forma general que los granos duros tienen gránulos de almidón pequeños, y los suaves presentan gránulos de almidón grandes.

Tester *et al.* (2004) justifican esta declaración sosteniendo que los gránulos de almidón están suspendidos en una matriz proteica que da soporte y rigidez a las estructuras del almidón, por lo tanto entre más grandes sean los gránulos menor la cantidad matriz proteica. Raeker *et al.* (1998) y Bertolini *et al.* (2003)

coinciden en que la biosíntesis de almidón y proteína están directamente relacionadas. No obstante, el factor ambiente es el que afecta la distribución del tamaño del almidón en el endospermo (Raeker *et al.*, 1998).

En el presente trabajo, el maíz criollo del municipio de Juárez tiene el mayor porcentaje de proteína y de almidón, así como contenido de aceite alto, lo que indica que este material en su endospermo duro posee gránulos de almidón pequeños, y se confirma la relación directa entre la biosíntesis de almidón y de aceites en el grano de maíz.

Para el contenido de fenoles libres, se observó un rango que va de 4.46 a 9.48%. Estos datos reflejan la gran variabilidad genética que existe entre las colectas y la gran diversidad de ambientes de producción, manejo de cultivo y prácticas agronómicas.

Para la comparación de medias (Cuadro 2), el municipio de Candela reporta el valor más alto de compuestos fenólicos, con 9.48%. Salinas *et al.* (2010) concluyen que los compuestos fenólicos son los responsables del oscurecimiento de la masa y la tortilla, factor que hace que estos maíces sean poco aceptados por la industria; sin embargo, estos compuestos antioxidantes reducen la acumulación de grasa en las arterias y ayudan al desarrollo neurológico y al crecimiento infantil (Ronayne, 2000).

CONCLUSIONES

La calidad química de la semilla está determinada por la composición genética de cada material, los ambientes de colecta y las condiciones de manejo agronómico. Las colectas con mayor porcentaje de proteína y almidón en grano entero fueron las del municipio de Juárez; las de mayor contenido de aceite, las del municipio de Zaragoza, y por último con más fenoles libres, fueron las del municipio de Candela. Las colectas del municipio de Ocampo fueron las más pobres en contenido nutricional.

LITERATURA CITADA

- AZEVEDO, R. A., M. Lancien M., and J. P. Lea. 2006. The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants. *Amino Acids* 30: 143-162.
- BADUI D., S. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición. Pearson Educación. Facultad de Química de la UNAM. México, 640 p.
- BELLO P., L. A. y L.O Paredes. 2009. Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Engine. Rev.* 1(1): 50-65.
- BERTOLINI, A. C., E. Souza, J. E. Nelson, and K.C. Huber. 2003. Composition and reactivity of A- and B-type starch granules of normal, partial waxy and waxy wheat. *Cereal Chemistry* 80(5): 544-549.
- CABRERA S., M. L., Y. Salinas M., G. A. Velázquez C. y E. Espinoza T. 2009. Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia* 43: 827-839.
- COPELAND, L. O. and M. B. McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. Fourth edition. Kluwer academic. Publishers. Boston. 467 p.
- COUTIÑO, E. B., G. Vázquez C., B. Torres M. y Y. Salinas M. 2008. Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(3): 9-14.
- DUDLEY, J. W., A. Dijkhuizen, C. Paul, S. T. Coates y T. R. Rocheford. 2004. Effects of random mating on marker-QTL associations in the cross of the Illinois high protein x Illinois low protein maize strains. *Crop Science* 44: 1419-1428.
- DUFFUS, C. y C. Slaughter. 1985. Las semillas y sus usos. AGT Editor S.A. México, D.F. 188 p.
- HERNÁNDEZ, C., Y. Rodríguez, Z. Niño y S. Pérez. 2009. Efecto del almacenamiento de granos de maíz (*Zea Mays* L.) sobre la calidad del aceite extraído. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Valencia, Venezuela. *Información Tecnológica* 20(4): 21-30.
- LAWSON, H. 1994. Aceites y grasas alimentarios, tecnología, utilización y nutrición. Acribia S.A. Zaragoza, España. 333 p.
- MÉNDEZ, M. G., J. Solorza F., M. Velázquez V., N. Gómez M., O. Paredes L. y L. A. Bello P. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivados en México. *Agrociencia* 39: 267-274.
- NARVÁEZ G., E. D., J. D. Figueroa C., S. Taba., E. Castaño T. y R. A. Martínez P. 2007. Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(3): 269-277.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2008. Principales productores de alimentos y productos agrícolas. Disponible en línea <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es>. (19 de enero de 2010).
- ORTEGA C., A., O. Cota, S. Vasal K., E. Villegas M., H. Córdova O., M. A. Barreras S., J. J. Wong P., C. A. Reyes M., R. E. Preciado O., A. Terrón I. y A. Espinoza

- C. 2001. H-441C, H-442C y H-469C. Híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el Noroeste y Subtrópico de México. Folleto Técnico Número 41. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental Valle del Yaqui. Cd. Obregón, Sonora. 44 p.
- PÉREZ, M. C., A. Hernández L., F. V. González., G. García D. S., A. Carballo C., T. R. Velásquez R. y M. R. Tovar G. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agric. Téc. Méx.* 32 (3): 341-352.
- RAEKER M., O., C. S. Gaines, P. L. Finney, and T. Donelson. 1998. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chem.* 75 (5): 721-728.
- REYES C., P. 1990. El maíz y su cultivo. Primera edición. AGT Editores. México. 280 p.
- RONAYNE D. F. y P. A. 2000. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante. *Arch. Argent. Pediatr.* 98(4): 231.
- SALINAS M., Y., N. O. Gómez M., J. E. Cervantes M., M. Sierra M., A. Palafox C., E. Betanzos M., y B. Coutiño E. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del Trópico Húmedo y Sub-húmedo de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(4): 509-523.
- SÁNCHEZ C., F., Y. Moreno S., M. G. Vázquez C., G.A. Velásquez C. y N. Aguilar G. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Arch. Latinoam. Nutr.* 57 (3): 295-301.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Cierre de producción agrícola por estado. Disponible en la página www.siap.gob.mx. SAGARPA. 2010.
- TESTER, R. F., J. Karkalas and X. Q. I. 2004. Starch-composition, fine structure and architecture. *Cereal Sci.* 39: 151-165.
- VÁZQUEZ C., M. G., B. L. Guzmán, J. L. Andrés G., F. Márquez S. y J. M. Castillo. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:231-238.
- VÁZQUEZ C., M. G., J. P. Pérez C., J. M. Hernández C., M. L. Marrufo D. y E. Martínez R. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33 (4): 49-56.
- VIDAL M., V.A., G. Vázquez C., B. Coutiño E., A. Ortega C., J. L. Ramírez D., R. Valdivia B., M. de J. Guerrero H., F. de J. Caro V., y O. Mota A. 2008. Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la Sierra de Nayarit, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31 (3): 15-21.
- ZEPEDA B. R., A. Carballo C., A. Muños O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S. y F. V. González C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad de nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33 (1): 17-24.

Modificaciones inducidas por la instalación de sistemas abiertos sobre potencial hídrico del tallo y conductancia de hoja en vid y durazno

Induced Modifications by the Installation of Open Systems on Stem Water Potential and Leaf Conductance in Grapevine and Peach

Víctor Manuel Reyes-Salas^{1*}, Fabiola Aureoles-Rodríguez¹,
Juan José Galván-Luna¹, Joan Girona i Gomís², Jordi Marsal-Vila²

¹Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: vreyesal@hotmail.com (*Autor responsable). ²Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaria (IRTA), Área de Tecnología Frutícola, Centre UDL-RTA, Lleida, España

RESUMEN

Al estudiar la transpiración de árboles frutales en campo, a nivel de todo el árbol, es necesario considerar la utilización de sistemas abiertos para la estimación real de las tasas de transpiración que aporten información confiable de consumos de agua de forma similar a la que se obtendría con un lisímetro. El objetivo de este trabajo fue evaluar las modificaciones inducidas por la instalación de sistemas abiertos sobre el potencial hídrico del tallo y la conductancia de hoja en vid y durazno, y sobre la transpiración de árboles de durazno. Se utilizaron árboles de durazno (*Prunus persica* L. Batsch) cv. O Henry sobre patrón Montclar y plantas de vid (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) sobre portainjerto S04, las cuales se colocaron en sistemas abiertos, mientras que una tercera se dejó abierta al aire libre como testigo. Las variables evaluadas fueron: temperatura, conductancia estomática, potencial hídrico y transpiración. La temperatura en el interior de las cámaras fue consistentemente superior a las del ambiente externo. Los árboles de durazno colocados dentro de las cámaras presentaron un potencial hídrico del tallo más negativo que el testigo. La conductancia estomática de las plantas de vid que se colocaron en las cámaras fue mayor que en las plantas al aire libre. Se concluye que el emplazamiento de un sistema abierto, aumenta de forma importante la transpiración de las plantas que contiene. Posiblemente el aumento de la transpiración, detectada con el uso de un sistema abierto, pueda inducir un cierto nivel de estrés hídrico en el caso de plantas sensibles a la demanda evaporativa.

Palabras clave: *Prunus persica* L. Batsch, *Vitis vinifera* L., transpiración, lisímetro, estrés hídrico

ABSTRACT

By studying fruit tree transpiration in field-wide tree, it is necessary to consider the use of open systems for real estimate transpiration rates to provide reliable water consumption similar to that which would a lysimeter. The aim of this study was to evaluate the modifications induced by the installation of open systems on stem water potential and leaf conductance in vine and peach, and the peach tree transpiration. We used peach (*Prunus persica* L. Batsch) trees cv. O Henry on a rootstock Montclar and grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) on S04 rootstock, which were placed in open systems, while a third was left open to air as a witness. The variables evaluated were: temperature, stomatal conductance, water potential and transpiration. The temperature inside the chamber was consistently superior to the external environment. Peach trees placed within chambers showed a stem water potential more negative than the control. Stomatal conductance of the vines were placed in the chambers showed higher values than outdoor plants. It is concluded that the location of an open system significantly increases the transpiration of the plants contained therein. Likely, the increase in transpiration, detected with the use of an open system can induce a certain level of water stress in the case of sensitive plants to evaporative demand.

Key words: *Prunus persica* L. Batsch, *Vitis vinifera* L., transpiration, lysimeter, water stress

Recibido: Diciembre, 2011 • Aprobado: Agosto, 2013

INTRODUCCIÓN

La necesidad de entender a fondo la transpiración de frutales en campo, a nivel de todo el árbol, ha provocado la evolución y mejora de la metodología utilizada por Heinicke y Childers (1937), quienes iniciaron los primeros trabajos sobre la colocación de un árbol frutal adulto en campo, en el interior de una cámara construida con materiales rígidos (micro invernadero).

En la actualidad, la aparición en el mercado de materiales más ligeros (plásticos transparentes en un 90% a la radiación fotosintéticamente activa), ha permitido diseñar sistemas abiertos fáciles de instalar y desinstalar, y que además, permiten la utilización de medidas de transpiración en campo a más bajo costo (Buwalda *et al.*, 1992; Corelli-Grappadelli y Magnanini, 1993).

Estos sistemas tienen ciertas ventajas: *a*) permiten hacer mediciones más precisas de la transpiración a nivel de todo el árbol; *b*) pueden adaptarse a tamaños muy diferentes de árboles; *c*) reducen las limitaciones que tienen las mediciones hechas a nivel de hoja. Sin embargo, presentan el inconveniente de modificar el ambiente (Long y Hällgren, 1985). En este sentido, uno de los factores ampliamente descrito y que ha merecido especial atención hasta el momento, es el efecto del incremento de la temperatura dentro de la cámara.

No obstante, la colocación de una barrera entre el árbol y el ambiente externo y la imposición de una ventilación agresiva para conseguir homogeneizar la difusión de gases dentro de la cámara, podría producir otro tipo de alteraciones. Por ejemplo, se podría afectar el espectro de radiación dentro de la cámara, y también se podrían incrementar, artificialmente, los niveles de transpiración de los árboles estudiados, e inducir algún tipo de estrés hídrico debido a la eliminación de la capa límite por el efecto de la ventilación y aumento de presión en el interior de la cámara.

Hasta el momento estos aspectos parecen haber sido pasados por alto y no están suficientemente estudiados. Parece por tanto necesario disponer de algún tipo de información que permita discutir la posibilidad de utilización de sistemas abiertos para la estimación real de tasas de transpiración, con el objetivo de aportar información fiable de consumos de agua de forma similar a la que se obtendría con un lisímetro.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las modificaciones inducidas por la instalación de sistemas

abiertos sobre el potencial hídrico del tallo y la conductancia de hoja en vid y durazno (*Prunus persica* L. Batsch), y sobre la transpiración de árboles de durazno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo en árboles de durazno de tres años de edad del cv. O Henry sobre un patrón Montclar plantados en contenedores de gran capacidad (120 L) y cultivados en condiciones de umbráculo, bajo malla sombra.

En vid, las pruebas se realizaron en los campos comerciales de las bodegas Raïmat, escogiendo dos cepas de 14 años del cv. Pinot Noir sobre portainjerto SO4, plantadas en campo a un marco de plantación de 1.70 x 3.10.

El riego tanto en durazno como en vid, se aplicó con el objetivo de mantener las plantas en condiciones de ausencia de estrés hídrico. Para el caso de la vid, la programación del riego se realizó de acuerdo con un protocolo para mantener la plantas bajo condiciones de no estrés hídrico, y según la metodología descrita por Girona *et al.* (2006). La cual consiste en mantener un valor de potencial de hoja (Ψ_h) superior a -0.8 MPa. Se realizaron dos mediciones por día del Ψ_h y se promediaron los dos valores, si los valores del Ψ_h sobrepasaban el límite fijado. El riego se aplicó mediante sistema por goteo utilizando dos emisores autocompensantes (2 L h⁻¹) por planta en un periodo de 3 a 4 h.

En durazno, el riego se programó para el mantenimiento de potenciales hídricos de tallo alrededor de -0.8 MPa. Este valor corresponde a lo descrito como condiciones de estado hídrico adecuadas para durazno (Shackel *et al.*, 1997). El riego se aplicó mediante sistema por goteo utilizando seis emisores autocompensantes (2 L h⁻¹) por árbol y aplicado el riego sobre una base diaria con un promedio de 15-20 min.

Para evaluar el efecto del sistema abierto sobre la transpiración del durazno se colocaron dos sistemas abiertos a dos de los tres árboles evaluados, mientras que el tercer árbol se dejó abierto al aire libre y sirvió como control. Todos los árboles estuvieron colocados sobre balanzas lisimétricas con plataformas de 80 x 80 cm utilizando células de carga de torsión (modelo Yide, Pesatge Industrial Aya S.L., Badalona, España) y conectadas a un registrador electrónico de datos (data logger) CR10X, Campbell Scientific, Ltd., Prosser, WA, USA) registrando los cambios

de peso con una precisión de ± 10 g cada 20 min. La superficie del sustrato del contenedor se cubrió con plástico negro para eliminar la componente de evaporación del suelo del consumo total de agua, de forma que los cambios de peso acontecidos en intervalos de tiempo específicos se atribuyeron en su totalidad a consumo por transpiración.

En un ciclo de 3 d adicionales se evaluó el efecto de reducir la velocidad de entrada del aire en la cámara de 2.5 a 1.5 m s⁻¹ durante un intervalo de 4 h al mediodía. Antes y después de este periodo la velocidad se mantuvo a 2.5 m s⁻¹.

En la vid se colocó un sistema abierto en una cepa y se comparó su comportamiento, con otra cepa contigua al aire libre a modo de testigo. Las evaluaciones se realizaron los días 5, 12 y 19 de agosto de 2004.

VARIABLES EVALUADAS

Temperatura. Las lecturas de la temperatura se realizaron con un termo-anemómetro (Modelo Testo 425; Testo, Lenzkirch, Germany) se tomaron mediciones de la temperatura en el interior de las cámaras de los sistemas abiertos tanto en vid como en durazno, así como en el exterior (temperatura ambiente), y éstas se realizaron cada 15 min en un lapso de 1 h y se promediaron para obtener una media horaria.

Conductancia estomática (g_s). Las mediciones de la conductancia estomática g_s se determinaron con un porómetro Steady State (LI-COR, modelo Li -1600, Lincoln, NE, USA). Dichas mediciones se realizaron sobre hojas maduras del tercio superior de ramas que se encontraban dentro de la cámara o en el exterior en el caso de plantas testigo. Las mediciones se realizaron en cinco hojas de cada planta (vid y durazno) y se promediaron para obtener la media de cada hora.

Potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}). Se determinó mediante una cámara de presión (Soil Moisture Equipment, modelo 3005, CA, USA). Las determinaciones se realizaron sobre hojas que se encontraban en la zona más próxima al tallo principal, previamente embolsadas una hora antes de la lectura para asegurar un equilibrio en la hoja con el resto del árbol (Shackel *et al.*, 1997). Se realizaron dos lecturas por planta en cada una de las cepas y duraznos, y se compararon los valores promedio por planta entre las situaciones planta en el interior de la cámara y planta al aire libre. En durazno las medidas se realizaron en cuatro momentos del día (a las 6:00, 10:00,

11:00 y 16:00, hora solar) y en vid según un intervalo parecido (a las 7:00, 10:00, 11:00 y 14:00, hora solar).

Transpiración (T). Esta variable sólo se evaluó en el durazno y se calculó como la diferencia de peso en el momento inmediatamente anterior a la colocación del sistema abierto, y el posterior a la retirada del mismo del conjunto balanza-contenedor-planta. La prueba se repitió durante 3 d (23 y 29 de julio y 5 de agosto).

Los efectos de colocar el sistema abierto sobre la transpiración del durazno, se evaluaron comparando los cambios relativos en valores de transpiración respecto a los de los árboles testigo, y utilizando como referencia los valores relativos entre árboles con sistema abierto y árboles al aire libre, los días inmediatamente anteriores y posteriores a los de la colocación del sistema abierto.

La prueba del efecto de la velocidad de entrada del aire se realizó el 12 de agosto de 2004. En el último caso se compararon los efectos de reducir y recuperar la velocidad de 2.5 a 1.5 m s⁻¹ y viceversa con los valores de transpiración de otro durazno al que se le había mantenido constante la velocidad estándar (2.5 m s⁻¹).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura

En las evaluaciones que se realizaron en las cámaras colocadas en los duraznos, se observaron diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de las cámaras. Las temperaturas en el interior de las cámaras fueron consistentemente superiores a las del ambiente externo. Las diferencias, aunque muy reducidas (inferiores a 1 °C) fueron apreciables desde el inicio del ciclo de medidas diurno. Las diferencias en promedios diarios se cifraron en 0.9, 1.3 y 1.4 °C superiores en el interior de la cámara durante la primera, segunda y tercera evaluación, respectivamente. En las evaluaciones realizadas en vid, las diferencias en temperatura entre el exterior y el interior de la cámara fueron también de poco más de un grado; las diferencias promedio diarias registradas fueron de 1.0, 1.3 y 1.2 °C en el primero, segundo y tercer día evaluado, respectivamente (Figura 1).

La introducción de un árbol entero en el interior de una gran bolsa de plástico traslúcida en la que todo su volumen es atravesado desde su extremo inferior a su extremo superior por aire forzado, a

priori' debería de producir una serie de alteraciones en el ambiente que rodea el árbol y que de hecho se han descrito en la literatura, al menos, en cuanto a temperatura. Por ejemplo, son de esperar incrementos de temperatura de hasta 2-3 °C en el interior de la bolsa (Miller *et al.*, 1996). En el caso de las comprobaciones realizadas en las dos especies (vid y durazno) los incrementos máximos de temperatura respecto al exterior no superaron nunca los 1.5 °C (Figura 1).

Potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo})

En las evaluaciones realizadas en los duraznos, se observó una tendencia clara en los árboles colocados dentro de la cámara a registrar valores de Ψ_{tallo} más negativos que los árboles expuestos al aire libre. Las diferencias diarias promedio entre las dos situaciones fueron de 0.21, 0.17 y 0.20 -MPa para el primero, segundo y tercer día evaluado, respectivamente. En las evaluaciones realizadas en vid se

obtuvieron tendencias muy similares a las observadas en durazno. Los valores de Ψ_{tallo} fueron más negativos en las cepas colocadas en el interior de las cámaras. Las diferencias diarias promedio fueron de 0.17, 0.21 y 0.20 -MPa más negativos en el interior de las cámaras durante el primero, segundo y tercer día de evaluación, respectivamente (Figura 2).

Sin embargo, y a pesar de lo reducido en los incrementos en temperatura, los valores de Ψ_{stem} descendieron de forma muy importante tanto en durazno como en vid (Figura 2). Aunque dichas reducciones en valor absoluto fueron similares entre ambas especies, la reducción en 0.2 MPa podrían tener una mayor implicación sobre el nivel de estrés inducido en la vid que en el caso del durazno. De hecho, en vid, pasar de valores de Ψ_{tallo} considerados como óptimos de -0.8 MPa (Ojeda *et al.*, 2002; Girona *et al.*, 2005), a valores de -1.0 MPa al mediodía, pueden llegar a representar una entrada a condiciones de estrés hídrico incipiente (Girona *et al.*, 2005).

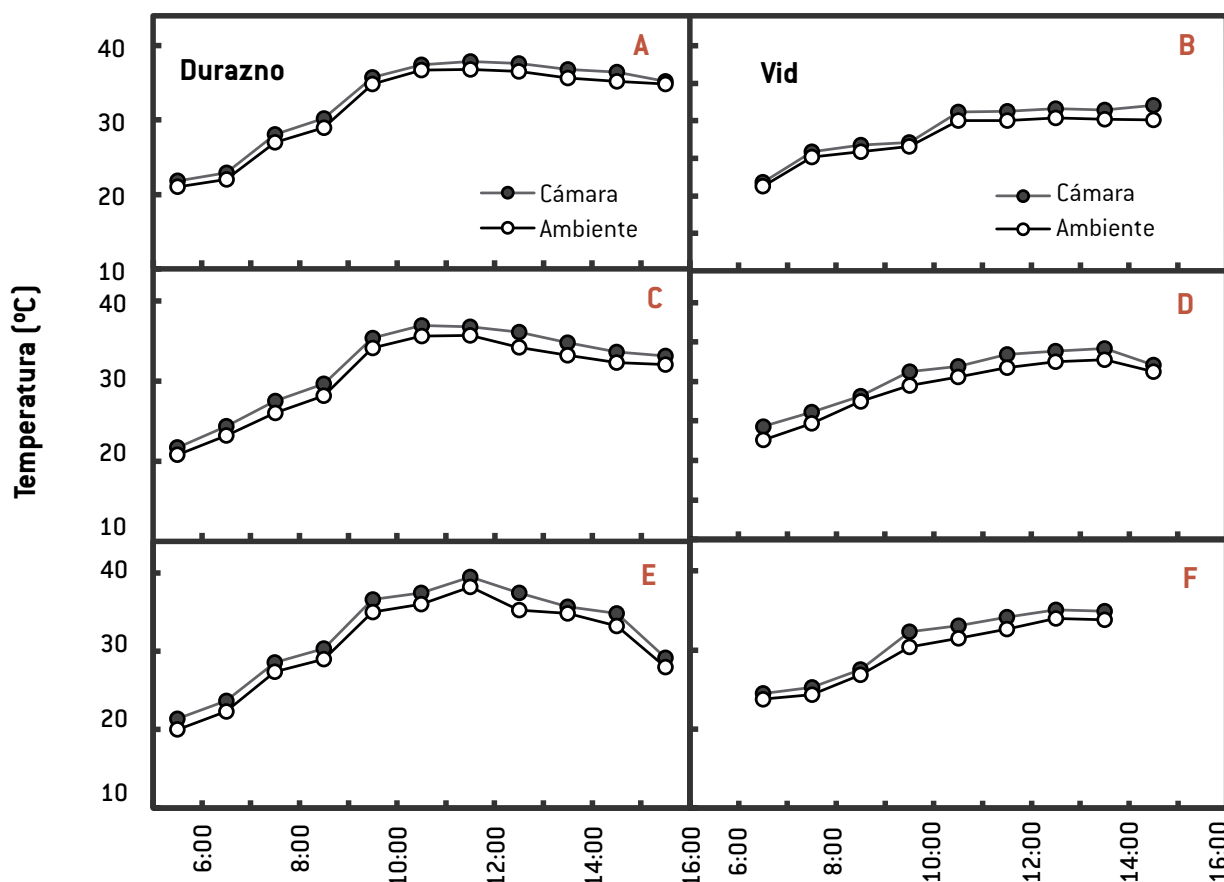


Figura 1. Evolución diaria de la temperatura ambiente y de la temperatura en el interior de la cámara del sistema abierto en durazno (A, C, E) y en vid (B, D, F) para los diferentes días de análisis.

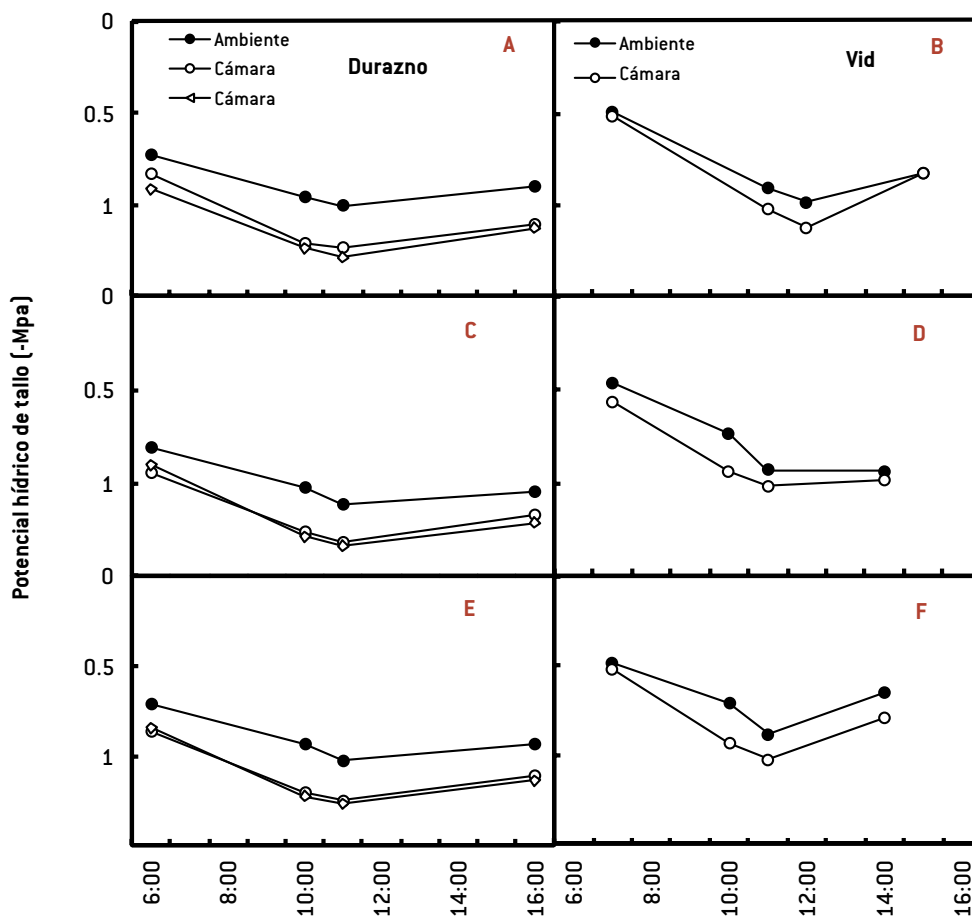


Figura 2. Evolución diurna del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) en plantas expuestas al aire libre y plantas colocadas en el interior de las cámaras en tres días diferentes de análisis para durazno (A, C, E) y vid (B, D, F).

Conductancia estomática (g_s)

El efecto de colocar un árbol de durazno en el interior de una cámara de un sistema abierto, se tradujo en aumentos de g_s que se observaron de forma muy consistente y resultaron evidentes para cualquier día controlado y hora del día en cuestión. Las diferencias en g_s entre hojas de plantas del exterior y del interior de la cámara fueron de alrededor de $30 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sobre la base de promedios diarios. En las evaluaciones en vid se encontraron tendencias similares a las del durazno. Las cepas a las que se le colocaron las cámaras mostraron valores más altos de g_s que las cepas al aire libre. Las diferencias entre las dos situaciones se observaron en un promedio total de $19 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 3).

Por otro lado, si el emplazamiento de la bolsa de plástico pudo haber inducido algún estrés evidente en vid o en durazno, éste no se apreció con suficiente claridad a partir de los valores de g_s que por el con-

trario experimentaron incrementos de hasta un 9% en plantas funcionando con el sistema abierto (Figura 3).

Transpiración (T) en árboles de durazno

Las balanzas lisimétricas registraron las pérdidas de peso cada 15 min, y aportaron datos consistentes en cuanto a diferencias entre árboles durante los días anterior y posterior a los días de emplazamiento del sistema abierto. Durante el primer ciclo de medida (22 a 24 de julio) el árbol situado al aire libre (testigo) tendió a consumir más agua que cualquiera de los árboles que llevaron el sistema abierto durante el día intermedio. Resultados similares se encontraron en el segundo ciclo de medidas. Durante el día intermedio, quedó registrado a primera hora de la mañana en la forma de aumento de peso, el momento de la instalación del sistema abierto debido al apoyo del sistema sobre el conjunto balanza-contenedor. A

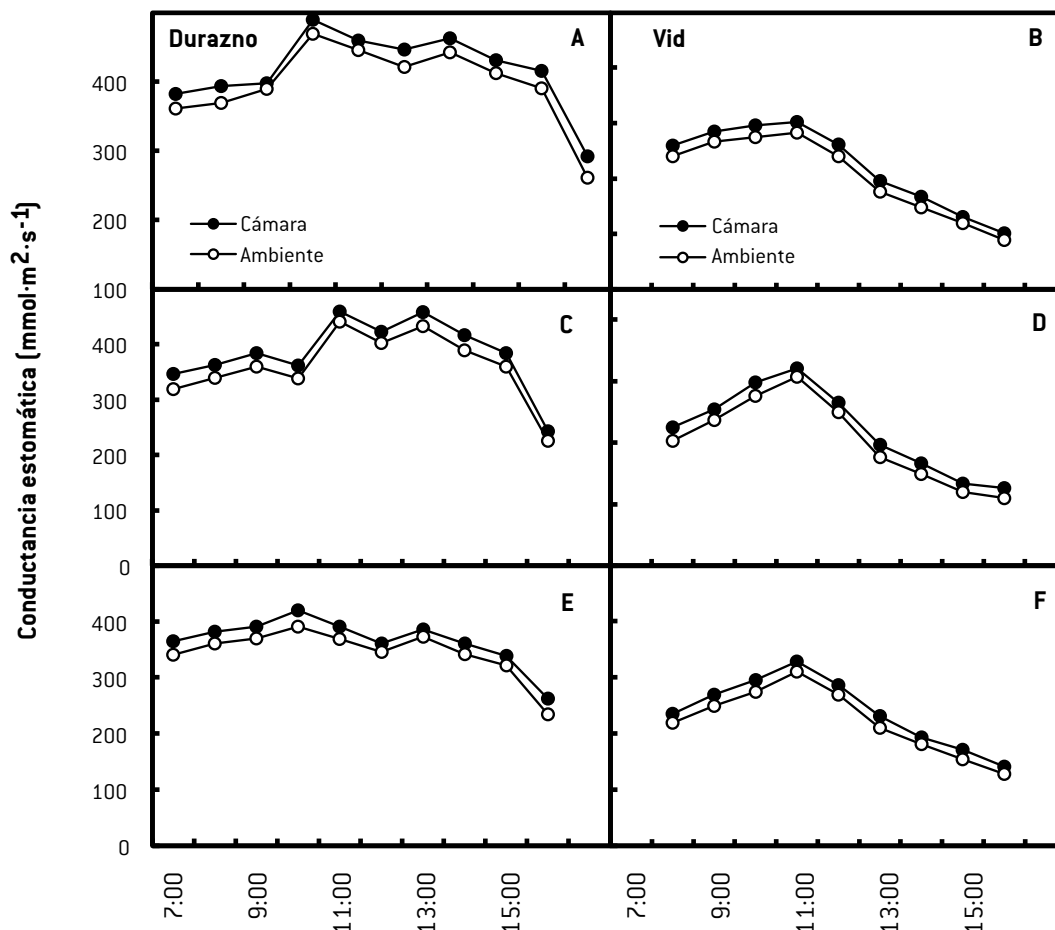


Figura 3. Evolución diurna de la conductancia de hoja [g_s] en plantas expuestas al aire libre y plantas colocados en el interior de las cámaras, en tres días diferentes de análisis para durazno (A, C, E) y vid (B, D, F).

partir de ese momento se observan las respuestas, en forma de pérdida de peso, a los tratamientos aplicados (Figura 4).

En general, las diferencias relativas en transpiración entre los dos árboles con el sistema abierto y al aire libre se mantuvieron de forma razonablemente constante entre el día antes, y el día después al emplazamiento de las cámaras.

El emplazamiento del sistema abierto respecto al día anterior, durante el primer ciclo, supuso un aumento en la transpiración promedio del 22%. En los dos ciclos consecutivos, los incrementos relativos supusieron un incremento de transpiración del 45 y 43%, segundo y tercer ciclo, respectivamente.

Congruente con los incrementos en g_s al introducir plantas enteras en un sistema abierto, fueron las evaluaciones de consumo de agua por transpiración en durazno. Los aumentos conjuntos de T y g_s han reforzado la idea de que el emplazamiento

de la cámara puede producir incrementos muy importantes en la transpiración relativa, respecto al árbol creciendo al aire libre, y que, de acuerdo con las estimaciones de este estudio pueden llegar a ser superiores de 22 a 45% (Cuadro 1).

Todo lo anterior parece indicar que el efecto del emplazamiento de la cámara y de la eliminación de la capa límite, por el aire circulando en su interior, ha inducido aumentos en la conductancia estomática, y como consecuencia de ello se ha alterado el equilibrio inicial entre suministro de agua a través de las raíces y el consumo desde la parte aérea, descendiendo consecuentemente los valores de Ψ_{tallo} , ya que los descensos en Ψ_{tallo} no han sido correlacionados con descensos en g_s .

Por todo ello queda la duda de si estos descensos en Ψ_{tallo} son indicativos de estrés hídrico real o tan solo muestran el efecto de un desequilibrio en el balance hídrico de la planta.

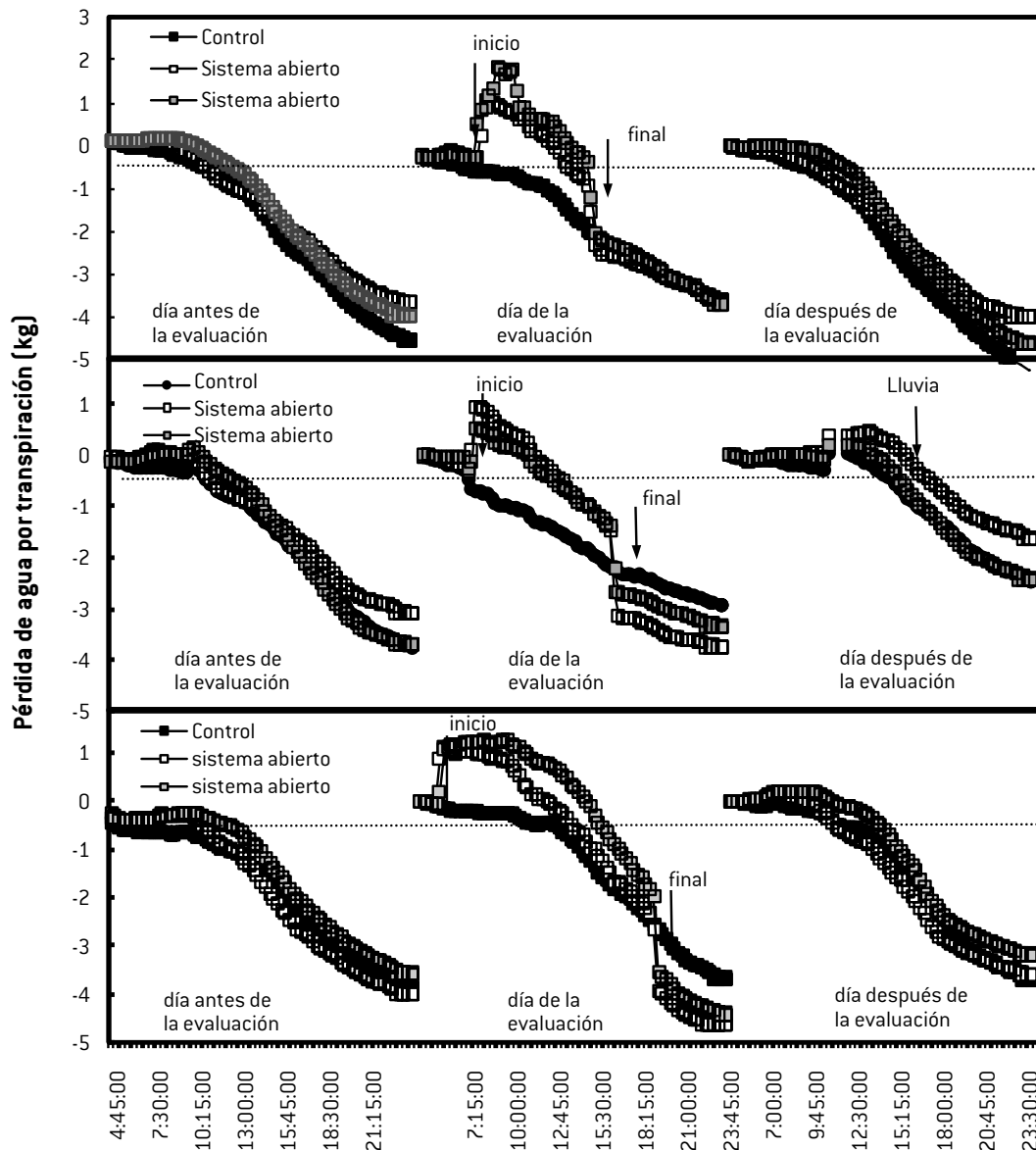


Figura 4. Evolución diurna de la transpiración [T] en dos árboles de durazno en sistemas abiertos, colocados en el interior de las cámaras y un árbol testigo sin cámara. Los indicativos “inicio” y “final” señalan el momento de instalación y desinstalación de los sistemas abiertos.

Transpiración (T) en árboles de durazno

El día anterior a la evaluación con el sistema abierto se apreció una tendencia en el árbol al aire libre y el árbol con velocidad de aire de 2.5 m s^{-1} a consumir agua de forma parecida, mientras que el árbol con velocidad de aire de $2.5\text{-}1.5 \text{ m s}^{-1}$ lo consumió un 19% más que el árbol al aire libre. Sin embargo, dichas proporciones no se mantuvieron el día después de la evaluación, ya que el árbol al aire libre consumió de 17 a 26% más agua que cualquiera de los demás árboles (Cuadro 2). El día de la evaluación, y con la instalación del sistema abierto, fue necesario

un periodo de transición de hora y media para que los valores de pérdida de peso empezaran a marcar un consumo de agua evidente (Figura 5).

En el análisis diurno correspondiente al día de evaluación, el árbol con velocidad variable de $2.5\text{-}1.5 \text{ m s}^{-1}$ antes de la reducción de la velocidad del flujo de aire a 1.5 m s^{-1} , presentó valores de consumo de agua por transpiración superiores a los mostrados por el árbol a velocidad constante 2.5 m s^{-1} , tal y como sucedió el día anterior al de evaluación (Cuadro 2). Sin embargo, con la reducción de la velocidad de 2.5 a 1.5 m s^{-1} , los consumos del árbol con velocidad

Cuadro 1. Consumo de agua por transpiración en árboles de durazno en respuesta a la alteración por la instalación de dos sistemas abiertos considerando las diferencias relativas entre árboles del día antes, del día de colocación del sistema abierto y del día después de la evaluación.

Ciclo	Tratamiento	Consumo por transpiración					
		Día antes		Día evaluación ²		Día después	
		L h-1	Dif' (%)	L h-1	Dif (%)	L h-1	Dif (%)
Primero							
22 a 24 julio	Árbol aire libre	0.25	100	0.33	100	0.28	100
	Árbol cámara ¹	0.20	80	0.31	94	0.22	79
	Árbol cámara ²	0.22	88	0.39	118	0.25	89
	Promedio efecto cámara ^x		84		106		84
Segundo							
29 a 31 julio	Árbol aire libre	0.20	100	0.19	100	0.13	100
	Árbol cámara ¹	0.17	85	0.29	153	0.09	69
	Árbol cámara ²	0.20	100	0.23	121	0.13	100
	Promedio efecto cámara		92		137		85
Tercero							
4 a 6 agosto	Árbol aire libre	0.21	100	0.25	100	0.20	100
	Árbol cámara ¹	0.19	90	0.35	140	0.20	100
	Árbol cámara ²	0.22	104	0.35	140	0.17	85
	Promedio efecto cámara		97		140		93

² Cálculo de la transpiración durante el periodo de funcionamiento del sistema abierto sin incluir los momentos inestables de cambio de peso durante la colocación y desinstalación del sistema abierto. ^yDif = 100*(árbol cámara / árbol aire libre). ^x Promedio efecto cámara = (árbol cámara¹ + árbol cámara²)/2.

variable se redujeron en comparación a los observados en el árbol con velocidad constante a 2.5 m s⁻¹. De forma congruente, con el retorno de la velocidad de 1.5 a 2.5 m s⁻¹ el árbol con velocidad variable tendió a incrementar los valores de consumo de agua comparado con el árbol de velocidad constante a 2.5 m s⁻¹ (Figura 6).

El mantener la velocidad del aire a 2.5 m s⁻¹ suponía un índice de renovación del aire dentro de la cámara (volumen de 3.7 m³) de 1.3 veces por minuto mientras al reducir la velocidad a 1.5 m s⁻¹ esto suponía un índice de renovación de 0.7 veces por minuto.

No obstante, el árbol que sufrió el cambio de velocidad de flujo experimentó un descenso relativo, entre el día antes y después de la evaluación, muy importante en transpiración (de 119 a 74%) (Cuadro 2).

El suministro de un flujo constante de aire a una velocidad de 2.5 m s⁻¹ suponía un índice de

renovación en promedio de 1.3 veces cada minuto, mientras que al reducirlo a una velocidad de 1.5 m s⁻¹ el índice de renovación se reducía a 0.7.

La prueba de disminuir el flujo de aire a la entrada en cámara de 2.5 a 1.5 m s⁻¹ durante unas 4 h se realizó con el objetivo de comprobar si reduciendo el flujo de aire se podría reducir la inducción a un mayor consumo de agua. Aunque esta prueba se realizó solamente durante un día, los resultados parecieron indicar de forma consistente, mediante la comparación de los consumos antes y después de la reducción de la velocidad del flujo, que los consumos relativos (respecto a un árbol con sistema abierto a velocidad constante a 2.5 m s⁻¹) disminuyeron con la reducción de la velocidad del flujo de aire a la entrada (Figura 6).

Las condiciones experimentales ligadas al emplazamiento de sistemas abiertos durante un plazo corto de tiempo hacen difícil el controlar parámetros

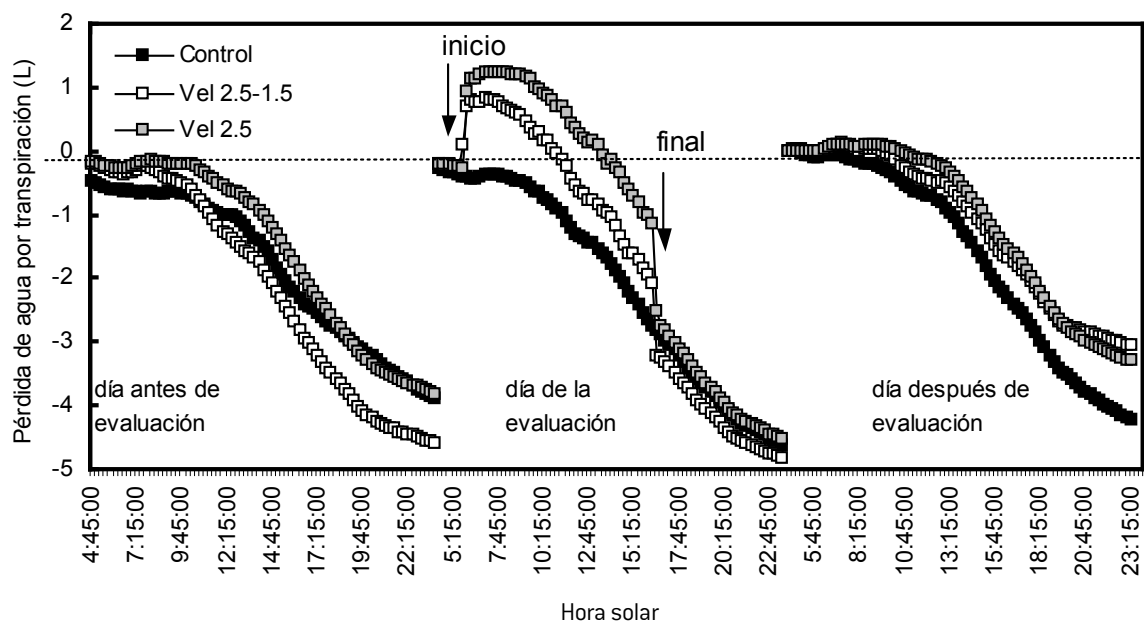


Figura 5. Evolución diaria de la pérdida de agua por transpiración, en durazno, en respuesta a cambios en la velocidad de flujo de aire a la entrada en cámara comparando dos sistemas abiertos (árbol con velocidad constante a 2.5 m s^{-1} “Vel-2.5” y árbol con velocidad variable “Vel² 0.5-1.5”) el consumo de un árbol al aire libre (Testigo). Los indicativos en el gráfico “inicio” y “final” señalan el momento de instalación y desinstalación de los sistemas abiertos.

Cuadro 2. Consumo de agua por transpiración en respuesta a cambios en la velocidad de flujo de aire a la entrada en cámara en durazno comparando dos sistemas abiertos y considerando las diferencias relativas entre árboles el día antes y el día de colocación del sistema abierto y el día después de la evaluación.

Ciclo	Tratamiento	Consumo por transpiración					
		Día antes		Día evaluación ²		Día después	
		L h-1	Dif' (%)	L h-1	Dif (%)	L h-1	Dif (%)
Periodo del 11 al 13 de agosto	Árbol aire libre	0.21	100	0.34	100	0.23	100
	Árbol con velocidad de aire de 2.5 m s^{-1}	0.21	100	0.35	103	0.19	83
	Árbol con velocidad de aire de $2.5-1.5 \text{ m s}^{-1}$	0.25	119	0.39	115	0.17	74

² Cálculo de la transpiración incluye solamente el periodo de funcionamiento del sistema abierto eliminando el ruido inicial introducido por la instalación del sistema. En el caso del árbol con velocidad de aire de $2.5-1.5 \text{ m s}^{-1}$ incluye ambos periodos con velocidades diferentes.

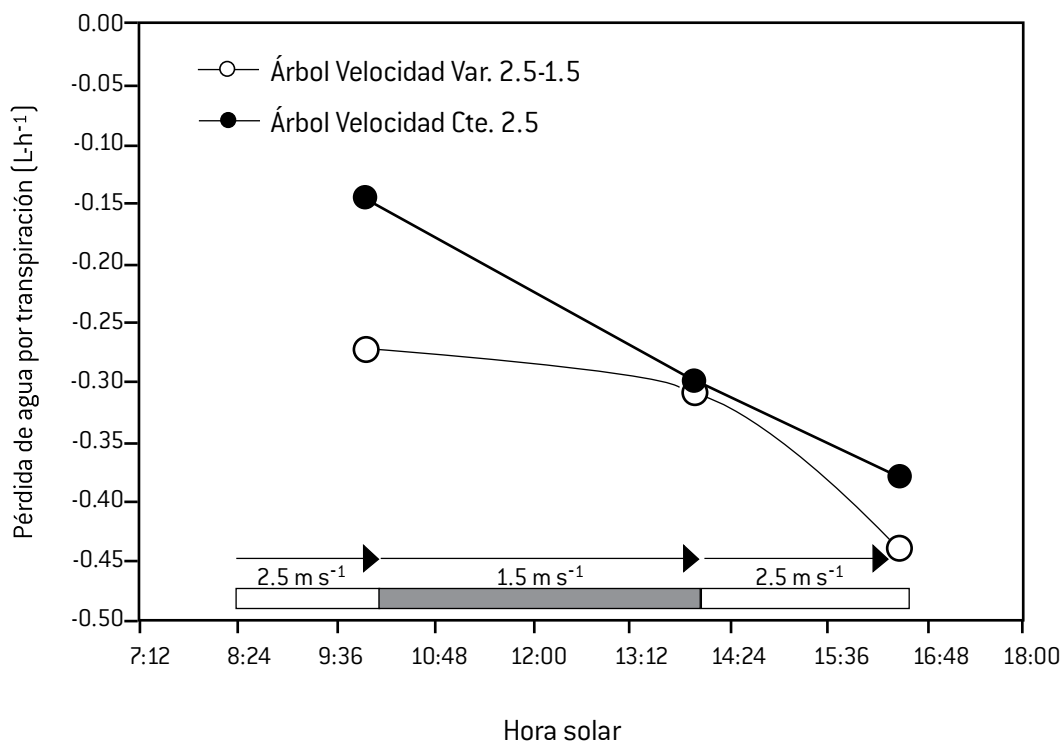


Figura 6. Evolución diaria de la pérdida de agua por transpiración en duraznos en respuesta a cambios en la velocidad de flujo de aire a la entrada en cámara comparando dos sistemas abiertos (sistema en árbol con velocidad constante a 2.5 ms^{-1} "Vel-2.5" y sistema en árbol con velocidad variable de $2.5\text{-}1.5\text{-}2.5 \text{ ms}^{-1}$ "Vel 2.5-1.5").

de crecimiento que pudieran ser útiles para indicar algún signo de estrés hídrico. Sin embargo, parece haber una tendencia a la reducción de los consumos relativos por transpiración respecto al árbol situado siempre al aire libre, algunos días después de retirar la cámara de los árboles estudiados (Figura 7). Esta tendencia a la reducción de transpiración podría ser debida a que el aumento en consumo de agua por el emplazamiento de la cámara puede haber inducido algún tipo de déficit hídrico quizás, por una insuficiente restitución de agua de riego en el contenedor. A pesar de todo ello, la existencia de esta tendencia podría no ser un factor determinante para dictaminar la posible inducción al estrés hídrico derivada del emplazamiento de un sistema abierto en un árbol entero, ya que ello puede ser debido, tan solo, a un factor transitorio de aclimatación al volver este árbol otra vez al aire libre.

No se dispone de una explicación clara del porqué esta inhibición sucedió de forma tan clara en el árbol de velocidad variable, pero ello pudiera haber sido debido a un incremento acusado de la temperatura como consecuencia de reducirse la circu-

lación del aire en el interior de la cámara. Desafortunadamente, para este día no se controlaron las temperaturas del aire en el interior de la misma.

CONCLUSIONES

El emplazamiento de un sistema abierto aumenta de forma importante la transpiración de las plantas que contiene. El aumento en la transpiración parece ir ligado a la alteración inducida por la entrada de aire forzado en el interior de la cámara y por el ligero aumento de temperatura en su interior. No se puede descartar que el aumento en transpiración detectado con el uso de un sistema abierto pueda inducir un cierto nivel de estrés hídrico en el caso de plantas sensibles a la demanda evaporativa.

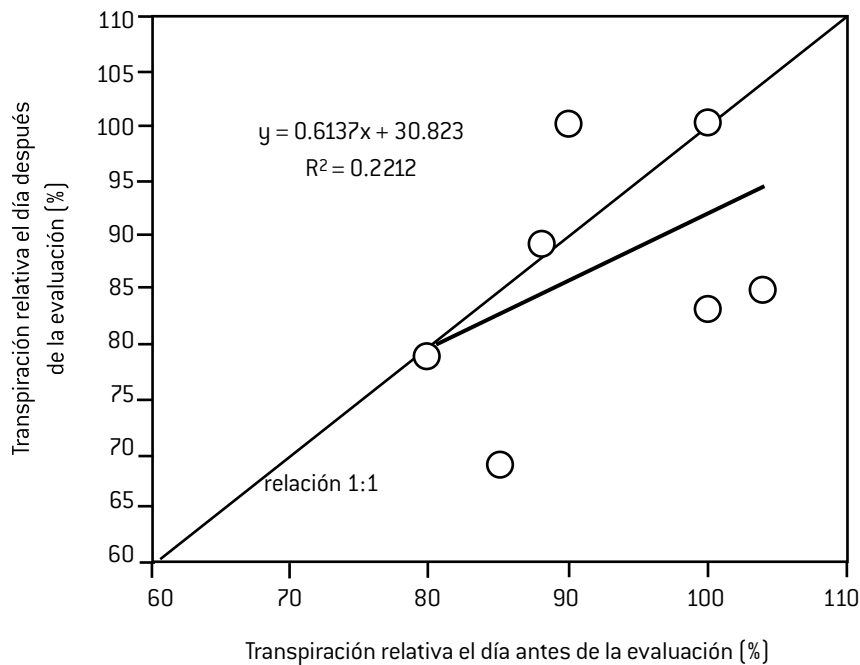


Figura 7. Relación de la pérdida de agua por transpiración en relación al árbol testigo entre el día antes y después del emplazamiento de sistemas abiertos en durazno. En la relación se consideran solamente observaciones obtenidas de sistemas abiertos funcionando a velocidad constante de 2.5 m s^{-1} .

LITERATURA CITADA

- BUWALDA, J.G., T.G.A. Green, J.S. Meekings, and D.J. Coneybear. 1992. Measurements of canopy gas exchange of kiwi fruit vines using a suite of whole-canopy cuvettes. *Environ. Expt. Bot.* 4: 425-438.
- CORELLI-Grappadelli, L., y E. Magnanini. 1993. A whole tree system for gas exchange studies. *HortScience* 28: 41-45.
- GIRONA, J., M. Mata, A. Vall-Llebre, V. Carrasco, J. Marsal. 2005. Respuesta del crecimiento vegetativo y productivo en duraznos (*Prunus persica* L. Batsch) sometidos a diferentes estrategias de riego deficitario controlado. XIII Jornadas Técnicas Sobre Riegos Tene-rife.
- GIRONA, J., M. Mata, J. del Campo, A. Arbonés, E. Bartra, J. Marsal. 2006. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrig. Sci.* 24: 115-127.
- HEINICKE, A.J., and N.F. Childers. 1937. The daily rate of photosynthesis, during the growing season of 1935, of a young apple tree of bearing age. *Cornell Univ. Exp. Sta. Mem.* 201. New York. EE. VV.
- LONG, S.P. and J-E. Hällgren. 1985. Measurement of CO_2 assimilation by plants in the field and the laboratory. In: J. Coombs, D.O. Hall, S.P. Long y J.M. O Scurlock eds, *Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis*. 2nd Edition. Pergamon Press: 62-94.
- MILLER, D.P., G.S. Howell and J.A. Flore. 1996. A whole-plant, open gas-exchange system for measuring net photosynthesis of potted woody plants. *Hort Science* 31(6): 944-946.
- OJEDA, H., C. Andary, E. Kraeva, A. Carbonneau and A. Deloire. 2002. Influence of Pre- and Postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.* 53(4): 261-267.
- SAHACKEL, K.A., H. Ahmadi, W. Biasi, R. Buchner, D.A. Goldhamer, S. Gurusingham, J. Hasey, D. Kester, B. Kruger, F. Lampine, G. McGourty, W. Micke, E. Mitcham, B. Olson, K. Pelletrany, H. Philips, D. Ramos, L. Schwankl, S. Sibbet, R. Snyder, S. Southwick, M. Stevenson, M. Thorpe, S. Weinbaum and J. Yaeger. 1997. Plant Water estatus as an index of irrigation needs in deciduous fruit trees. *HortTechnology* 7(1): 23-28.

Resistencia helmíntica de ovinos Katahdin y Pelibuey en Villacorzo, Chiapas, México

Helminths Resistance of Sheep Katahdin y Pelibuey in Villacorzo, Chiapas, Mexico

Fernando Ruiz-Zárate^{1*}, Fabio Cruz-Velázquez¹, Armando Jacinto Aguilar-Caballero³, Raquel Olivas-Salazar¹, Ramiro López-Trujillo², Glafiro Torres-Hernández⁴, Alfredo Cuéllar-Ordaz⁵

¹Departamento de Producción Animal, ²Departamento de Nutrición Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: frzarat@gmail.com (*Autor responsable). ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Km. 15.5, Carretera Mérida-Xmatkuil. Apartado postal 4-116 Itzimná. C.P. 97100. Mérida, Yuc., México. ⁴Colegio de Postgraduados. Programa de Ganadería, C.P. 56230, Montecillo, Edo. Mex., México. ⁵Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, km 2.5, Carretera Cuautitlán-Teoloyucan, San Sebastián Xhala, 54714, Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., México

RESUMEN

La carga parasitaria gastrointestinal en ovinos (*Ovis aries* L.) es un factor que limita su producción en las zonas tropicales y subtropicales, ya que la aplicación de productos químicos para su control representa un alto costo. El objetivo de este estudio fue comparar la resistencia genética y alimenticia con la carga helmíntica en corderos de las razas Katahdin y Pelibuey en el sureste del trópico mexicano. Se utilizaron corderos Katahdin y Pelibuey con media sangre de cruza Dorper, de tres a cuatro meses de edad, con un peso corporal de 20.09 ± 2.88 kg. Los tratamientos fueron: 1) Pelibuey con alta suplementación (PAS); 2) Pelibuey con baja suplementación (PBS); 3) Katahdin con alta suplementación (KAS) y 4) Katahdin con baja suplementación (KBS). La suplementación alta consistió en 1% de su peso vivo en grano de maíz amarillo cada día; para la suplementación baja se suministraron 100 g del mismo grano por día. Se determinó la condición corporal (CC) y el índice FAMACHA mediante la prueba de Wilcoxon. Se evaluó ganancia diaria de peso (GDP), huevos por gramo de heces (HGH) y hematocrito (H); además se identificó el género de los parásitos gastrointestinales. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2 . No se encontraron diferencias para ninguna variable por efecto de raza ($p > 0.05$). Sin embargo, la suplementación afectó ($p < 0.01$) la GDP: 4.64 ± 2.23 kg con alta suplementación y 2.43 ± 2.34 kg con baja suplementación. El H no mostró diferencias entre razas ($p > 0.05$). La raza Katahdin fue más pesada que Pelibuey ($p < 0.0001$): en KAS, el peso corporal fue de $22.96 + 0.36$ kg; y en KBS fue de $22.06 + 0.33$ kg. Los corderos con alta suplementación fueron más pesados que los que tuvieron baja suplementación ($p < 0.0001$). En PAS, el peso corporal fue de $19.90 + 0.33$ kg, y en PBS fue $17.70 + 0.38$ kg. Se encontró correlación negativa ($p = 0.01$) entre las variables CC-HGH ($r = -.241$) e índice FAMACHA-HGH ($r = -.198$). Los únicos géneros presentes fueron *Haemonchus spp.* y *Trichostrongylus spp.*

Palabras clave: Corderos, parásitos gastrointestinales, Famacha, huevos por gramo de heces, hematocrito

ABSTRACT

The gastrointestinal parasite burden in sheep (*Ovis aries* L.) is a factor that limits their production in the tropic and subtropic areas, since the application of chemicals to control a high cost. The aim of this study was to compare the genetic resistance and food with helminth load in Katahdin lambs and Pelibuey breeds in southeastern Mexican tropics. Katahdin lambs were used and average blood Pelibuey Dorper crosses, three to four months of age with a body weight of 20.09 ± 2.88 kg. The treatments were: 1) Pelibuey high supplementation (PHS), 2) Pelibuey low supplementation (PLS), 3) high supplementation Katahdin (KHS) and 4) low supplementation Katahdin (KLS). High supplementation consisted of 1% of their weight in grain yellow corn everyday; for the low supplementation 100 g of the same seed were provided everyday. Body condition was determined (BC) and FAMACHA index by testing Wilcoxon. Daily gain weight (DWG) was assessed, eggs per gram of feces (HGF) and packed cell volume (PCV); and also the gender of gastrointestinal parasites was identified. A completely randomized design with factorial arrangement 2×2 was used. No differences were found for any variable by breed effect ($p > 0.05$). However, the supplementation affected ($p < 0.01$) the DWG: 4.64 ± 2.23 kg with high supplementation and 2.43 ± 2.34 kg with low supplementation. The PCV showed no differences between breeds ($p > 0.05$). The Katahdin breed was heavier than sheep ($p < 0.0001$) in KAS, body weight was $22.96 + 0.36$ kg and $+ 0.33$ KBS was 22.06 kg. High supplementation lambs were heavier than those with low supplementation ($p < 0.0001$). In PHS the body weight was $19.90 + 0.33$ kg, and PLS was $17.70 + 0.38$ kg. Negative correlation was found ($p = 0.01$) between the BC-HGH variables ($r = -.241$) and FAMACHA-HGH index ($r = -.198$). The only genera present were *Haemonchus spp.* and *Trichostrongylus spp.*

Key words: Lambs, gastrointestinal parasites, Famacha, eggs per gram of feces, packed cell volume

Recibido: Julio 2011 • Aprobado: Agosto 2013

INTRODUCCIÓN

Los nematodos gastrointestinales (NGI) contribuyen a la reducción de la productividad en la producción de carne, leche y lana en ovinos, ya que afectan su consumo voluntario (Bambou *et al.*, 2009). Su control es costoso y no siempre efectivo, ya que cada vez son más resistentes a los fármacos antihelmínticos (Tibbo *et al.*, 2008).

Reportes de resistencia antihelmíntica a productos químicos en pequeños rumiantes advierten amenazas en la viabilidad de la industria (Kaplan, 2004; Torres, 2005). La resistencia a antihelmínticos se debe a su uso prolongado, o por no usar la dosis adecuada debido a que se utilizan dosis inferiores al peso que corresponde (Pereira, 2004).

Los sistemas de producción ganadera en regiones tropicales y subtropicales con afecciones parasitarias son causa importante de pérdidas en la productividad (FAO, 2003). Cuéllar (2003) menciona que los problemas más frecuentes y de mayor impacto económico en la producción ovina de México son las parasitosis, y dentro de éstas encontramos las infecciones con nematodos gastroentéricos.

Bambou *et al.* (2009) demostraron resistencia genética a parasitosis inducida con *Haemonchus contortus* en cabritos. El objetivo de este estudio fue comparar la resistencia genética y alimenticia a la carga helmíntica en corderos de las razas Katahdin y Pelibuey en el sureste del trópico mexicano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se realizó en el municipio de Villacorzo, Chis., México, ubicado a una altura de 600 msnm. Su localización geográfica es 16° 11' 06" LN y 93° 16' 02" LO, su clima se clasifica como: A (w2), cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 23 °C y precipitación anual de 1139 mm (INEGI, 2003). Cuenta con una vegetación de praderas establecidas con pasto llanero (*Andropogon gayanus*) y estrella de África (*Cynodon plectostachyus*).

Tipo y manejo de los animales

Se utilizaron 33 corderos destetados de tres a cuatro meses de edad y 20.09 ± 2.88 kg de peso inicial para el total; 17 de la raza Katahdin con $21.88 + 2.52$ kg de peso, y como grupo testigo 16 de la raza Pelibuey, con $18.19 + 2.01$ kg de peso vivo. Cada grupo racial

estuvo compuesto por media sangre de la raza del grupo correspondiente, y la otra media sangre de diferentes cruza Dorper. Los corderos fueron distribuidos al azar en cuatro tratamientos: 1) Pelibuey con alta suplementación (PAS): (n = 9); 2) Pelibuey con baja suplementación (PBS): (n = 7); 3) Katahdin con alta suplementación (KAS): (n = 8), y 4) Katahdin con baja suplementación (KBS): (n = 9).

Identificación de los corderos

Los animales se identificaron mediante la colocación de un arete de tipo campana, empleando un color diferente para cada grupo. Previo al inicio del estudio, todos se desparasitaron con Levamisol al 10% en dosis de 1 mL/16 kg PV de acuerdo con las recomendaciones del laboratorio. También se aplicó Albendazol en dosis de 1.5 mL/10 kg PV para el control de Moniezia.

Alimentación

Todos los corderos fueron mantenidos en pastoreo extensivo del 21 de marzo al 27 de junio de 2010, que fue la duración del estudio; como suplemento, recibieron grano de maíz molido (PC = 10.1% y ED = 4.05 Mcal/kg en MS) todos los días a las 17:00 h. Los corderos de los grupos con alta suplementación (PAS y KAS) recibieron diariamente 1% de su peso vivo de grano de maíz amarillo en materia tal como se ofrece, y los de baja suplementación (PBS y KBS) recibieron diariamente 100 g de grano de maíz amarillo por animal.

Manejo de animales

Los animales se pesaron individualmente cada 14 d en la mañana antes de salir a pastoreo. Para el pesaje de los animales se utilizó una báscula con capacidad máxima de 100 kg. Adicionalmente, se determinó la condición corporal (CC) de los animales en una escala de 1-5 de acuerdo con Russel *et al.* (1969).

De igual manera, cada 14 d se determinó el grado de anemia para cada animal con el apoyo de la carta de FAMACHA (Bath *et al.*, 2001).

Técnicas parasitológicas

Al inicio del experimento y cada 14 d, los corderos fueron sometidos de manera individual a muestreo de materia fecal, tomándola directamente del recto con una bolsa nueva de nylon. Dichas muestras se identificaron con los números de animal y tratamiento, se colocaron en una hielera y se trasladaron al laboratorio para su análisis. Se utilizó la técnica

coproscópica cuantitativa de McMaster para el conteo de huevos de nematodos en heces y para su posterior expresión en cantidad de huevos por gramo de heces (HPG) (Hansen y Perry, 1994).

Los géneros de NGI se determinaron por la identificación de las larvas en coprocultivo utilizando el método de Corticelli y Lay (1963) en donde se mezclaron las heces de todos los animales mayormente parasitados. Los géneros de las larvas encontradas se identificaron de acuerdo con su morfología (Corticelli y Lay, 1964).

Técnicas hematológicas

Al inicio del experimento y cada 14 d, se hicieron muestreos de sangre de los corderos para determinar los niveles de hematocrito (H) por la técnica de microhematocrito. Las muestras se tomaron directamente de la vena yugular, empleando agujas calibre 18 y tubos vacutainer, con anticoagulante EDTA (Hansen y Perry, 1994). La toma de las muestras de sangre se realizó simultáneamente con la toma de las muestras de heces.

Análisis estadístico

Las variables de respuesta: CC del animal (unidades) en escala de 1 a 5 donde 1 = muy flaco y 5 = obeso, y FAMACHA en escala de 1 a 5 donde se analizaron a través del paquete estadístico SPSS ANOVA utilizando la prueba de Wilcoxon, el peso (kg), presencia de NGI en heces representados por huevos por gramo de heces (HPG); se evaluaron por un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 donde el factor A (dos razas: Katahdin y Pelibuey) y factor B (alta suplementación y baja suplementación) con repetidas en el tiempo se utilizó PROC MIXED de

SAS (1999). Previo a su análisis, los valores de HPG fueron transformados a $\log_{10}(x + 1)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en el Cuadro 1, cuando los animales se agruparon en base a los efectos principales (raza y suplementación), la raza no mostró diferencia significativa en la ganancia de peso total (GPT), condición corporal, FAMACHA, H y HGH ($P > 0.05$). Sin embargo, la suplementación solamente afectó ($P < 0.01$) la ganancia total de peso de los corderos, pero las demás variables no mostraron diferencia alguna.

Cabe mencionar que las madres de los corderos Katahdin siempre han permanecido en el mismo sitio donde se llevó a cabo el estudio, de tal manera que los corderos han desarrollado una mejor adaptación al sitio. Por otro lado, las ovejas ancestros de los corderos Pelibuey se introdujeron al lugar de estudio hace siete años, aproximadamente, por lo que se sospecha que éstos presentan baja adaptabilidad en la unidad productiva.

Cuéllar (2003) menciona que al tratarse de dos razas de pelo, adaptadas al trópico bajo las mismas condiciones de manejo, desarrollan la capacidad para regular la carga parasitaria, tomando en cuenta que los ovinos nativos o criollos y algunas razas de pelo, son considerados más resistentes a adquirir la enfermedad con relación a los animales exóticos, ya que han tenido, con el paso del tiempo, una selección natural sobreviviendo los animales más resistentes a los parásitos gastrointestinales de la región, ya que los animales desarrollan una respuesta inmune que permite controlar la población parasitaria (Castells, 2002).

Cuadro 1. Efecto de la raza y nivel de suplementación sobre la ganancia de peso total, condición corporal, método FAMACHA, hematocrito y huevos por gramo de heces en ovinos Katahdin y Pelibuey en pastoreo extensivo.

Efectos principales	Factores	GPT	CC	Famacha	H	HGH
Raza	Katahdin	3.53+2.76ns	2.23+0.20ns	1.79+0.35ns	32.81+3.31ns	1276+796ns
	Pelibuey	3.63+2.30ns	2.17+0.19ns	1.72+0.21ns	32.60+3.36ns	1406+966ns
Suplementación	Alta	4.64+2.23**	2.27+0.04ns	1.72+0.07ns	32.6+0.83ns	1124+217ns
	Baja	2.43+2.34**	2.16+0.05ns	1.82+0.07ns	32.84+0.86ns	1573+210ns

** Significativo a una $p < 0.01$; ns = no significativo; GPT = Ganancia de peso total; CC = Condición corporal; H = hematocrito y HGH = huevos por gramo de heces.

Está claramente documentado que hay variación genética en la resistencia de los ovinos a la infección por NGI al igual que entre individuos de la misma raza (Baker, 1999). Existe cierto grado de heredabilidad para esta característica (Morteo *et al.*, 2003).

Aynalem Haile *et al.* (2002) no encontraron diferencias en valores de H entre razas de ovinos Etiópes, de igual manera Morteo *et al.* (2003), al trabajar con ovinos Pelibuey, reportaron que a menor carga parasitaria los valores de HT fueron más altos, presentaron mejor mucosa ocular y mejor condición.

El Cuadro 2 presenta los resultados de las variables estudiadas, peso corporal (kg), valores de HT (%) y carga parasitaria con valores transformados, donde los corderos fueron agrupados por tratamientos: 1) PAS (n = 9) Pelibuey con alta suplementación; 2) PBS (n = 7) Pelibuey con baja suplementación; 3) KAS (n = 8) Katahdin con alta suplementación y 4) KBS (n = 9) Katahdin con baja suplementación. Todos los corderos estuvieron en pastoreo extensivo.

Aunque el peso inicial no afectó las ganancias de peso posteriores en los tratamientos, la raza Katahdin fue más pesada que la Pelibuey ($p < 0.0001$), de igual manera, los animales con alta suplementación fueron más pesados que los de baja suplementación en ambos tratamientos ($p < 0.0001$), para la variable H no hubo diferencia ($p < 0.05$) entre raza y los diferentes niveles de suplementación; sin embargo, para la carga parasitaria se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$) entre los tratamientos (Cuadro 2).

Coop y Kyria-zakis (1999) mencionan que las dietas ricas en proteínas de alto valor biológico dificultan el establecimiento de parásitos en el huésped debido a una mejor respuesta eosinofílica. Como consecuencia de este fenómeno, se observaron menores conteos de huevos en materia fecal, menores conteos de parásitos adultos de las hembras parasitadas.

Las correlaciones entre las variables de estudio: condición corporal (CC), FAMACHA, H y HGH se presentan en el Cuadro 3. La puntuación de FAMACHA se correlacionó negativa y significativamente con HGH en ambas razas ($r = -0.198$; $p \leq 0.01$). Resultados similares obtuvieron Moors y Gaulty (2009), al encontrar correlación significativa entre FAMACHA y HGH en ovinos cabeza Negra y Leine.

En las variables CC y HGH se presentó una correlación negativa ($r = -0.241$; $p \leq 0.01$), es decir, corderos con baja CC presentan alto conteo de HGH. Morteo *et al.* (2003) también encontraron resultados similares; sin embargo, cuando se asoció H con FAMACHA y CC ésta fue baja ($p > 0.05$), lo que significa que no existe relación entre éstas. Los resultados anteriores son diferentes a lo reportado por Di Loria *et al.* (2009), los cuales mencionan que existe una correlación negativa entre FAMACHA y H en tres razas de ovinos (Pinzirrita, Bagnolese y Mestizos) en Italia.

Las correlaciones en el presente trabajo fueron muy bajas debido a que los animales presentaron un bajo número de HGH, esto concuerda con estudios (Malan *et al.*, 2001; Van y Bath, 2002; Vatta *et al.*, 2002; Kaplan *et al.*, 2004) donde mencionan que una infestación parasitaria alta de estrongilos digestivos se correlaciona negativamente con parámetros hematológicos como el valor de H, siendo un buen indicador de presencia de parásitos.

Morales *et al.* (2002) mencionan que los animales con un elevado número de huevos en heces presentan niveles bajos de H.

Géneros encontrados de nematodos gastrointestinales

De los coprocultivos realizados se contaron larvas en fase infectiva (L3) donde se identificaron los siguientes géneros: *Haemonchus* spp., con 80%,

Cuadro 2. Peso corporal, hematocrito y carga parasitaria transformada [$\log_{10} (X + 1)$] en corderos Katahdin y Pelibuey suplementados y no suplementados en condiciones de pastoreo extensivo.

	Katahdin		Pelibuey	
	Alta	Baja	Alta	Baja
Peso [kg]	22.96+0.36***	22.06+0.33***	19.90+0.33***	17.70+0.38***
Hematocrito [%]	32.06+0.92*	33.51+0.87*	33.03+0.87*	32.03+1.00*
Carga parasitaria	1.46+0.06***	1.54+0.05***	1.77+0.05***	1.84+0.06***

** , *** Significativo a una $p < 0.01$ o < 0.0001 ; GPT = Ganancia de peso total; CC = Condición corporal; H = hematocrito y HGH = huevos por gramo de heces.

Cuadro 3. Correlaciones entre condición corporal, FAMACHA, hematocrito, número de huevos por gramo de heces en ambas razas: Pelibuey y Katahdin.

Variable	rP
CC-FAMACHA	0.097
CC-H	0.025
CC-HGH	-0.241
FAMACHA-H	-0.117
FAMACHA-HGH	-0.198
H-HGH	-0.108

P= 0.01; CC: condición corporal; H: Hematocrito; HGH: huevos por gramo de heces. Pelibuey (P) y Katahdin (K).

y *Trichostrongylus* spp., 20%. Los géneros de NGI encontrados fueron similares a lo reportado por Rojas *et al.* (2007) al trabajar con ovinos Pelibuey en el estado de Guerrero, quienes hallaron como género principal de la parasitosis a *Haemonchus*, y en menor proporción a *Trichostrongylus*; asimismo, en otro estudio realizado por Nuncio *et al.* (2004), en 14 municipios del estado de Tabasco, se menciona que los géneros encontrados mayormente fueron *Haemonchus* y *Trichostrongylus* (Figura 1).

La característica principal del género *Haemonchus* spp. es causar un grado de anemia, ya que son hematófagos, y se calcula que en un animal la pérdida media de sangre es de 0.05 mL por parásito por día (Rojas *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

La raza Katahdin fue más pesada que Pelibuey, y presentó mayores ganancias de peso. La raza Pelibuey fue más susceptible a infecciones parasitarias que Katahdin, lo cual nos indica una mayor adaptación de Katahdin al sitio de estudio, donde existe más prevalencia de *Haemonchus* spp., seguida por *Trichostrongylus* spp.

LITERATURA CITADA

AYNALEM, H., S. Tembely, D. O. Anindo, E. Mukasa, M. J. E. O., Rege A. Y., Baker R. L. 2002. Effect of breed and dietary protein supplementation on the responses

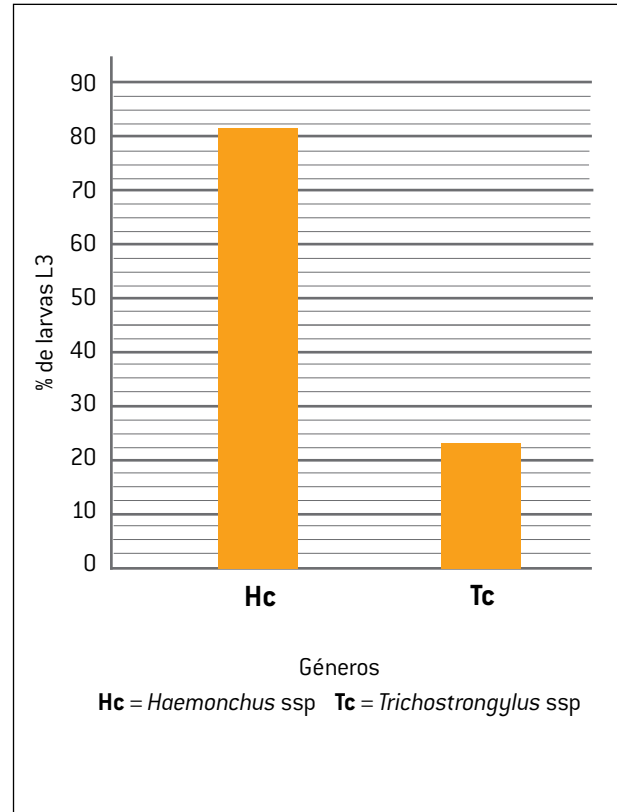


Figura 1. Representación porcentual de los nematodos gastrointestinales en ovinos Katahdin y Pelibuey.

to gastrointestinal nematode infections in Ethiopian sheep. Small Rumin. Res. 44: 247-261.

BAKER, R. 1999. Genetic resistance to endoparasites in sheep and goats in the tropic and evidence for resistance in some sheep and goats breeds in sub-humid coastal Kenya. Animal Genetic. Res. Inf. Bull. 24: 13-30.

BAMBOU, J. C., R. Arquet, H. Archimède, G. Alexandre, N. Mandonnet, and E. González. 2009. Intake and digestibility of Naïve kids differing in genetic resistance and experimentally parasitized (indoors) with *Haemonchus contortus* in two successive challenges. J. Anim. Sci. 87: 2367-2375.

BATH, G., J. Hansen, R. Krecek, J. Vanwyk, and A. Vatta. 2001. Sustainable approaches for managing *Haemonchosis* in sheep and goats, final report. fao. Animal Production and health Papers. Finals Report of Food Agriculture Organization (FAO) Technical Co-operation project N° TCP/SAF/882 (A). 129 p.

CASTELLS, D. 2002. Nuevo enfoque en el control parasitario de ovinos. En resistencia genética del ovino y su aplicación en sistemas de control integrado de parásitos. Animal Production and Health Paper, Hemisferio Sur, Uruguay, 17-24.

- COOP, R.L. y I. Kyriazakis. 1999. Nutrition-parasite interactions. *Vet. Parasitol.* 84: 187-204.
- CORTICELLI, B. y M. Lai. 1963. Ricerche sulla tecnica di coltura delle larve infestive degli strongili gastro-intestinali del bovino. *Acta Med. Vet.* 9: 347-357.
- CORTICELLI, B. & M., Lai. 1964. La diagnosi di tipo d'infestione nella strongilosi gastro-intestinale del bovino in Sardegna con le larve infestive [Diagnosis of the infestation type in gastro-intestinal strongylosis of cattle in Sardinia by differentiation of the infective larvae]. *Vet. Ital.* (15): 190-213.
- CUÉLLAR O., A. J. 2003. La resistencia a los antihelmínticos y métodos para reducir su prevalecencia en los sistemas ovinos tropicales. Memoria del segundo seminario sobre producción intensiva de ovinos. Villahermosa, Tab., México. pp. 15-27.
- DI LORIA, A., V. Veneziano, D. Piantedosi, L. Rinaldi, L. Laura Cortese, L. Mezzino, G. Cringoli and P. Ciaramella. 2009. Evaluation of the FAMACHA system for detecting the severity of anaemia in sheep from southern Italy. *Vet. Parasitol.* 161: 53-59.
- FAO. 2003. Resistencia a los antiparasitarios. Estado actual con énfasis en América Latina. Roma, Italia.
- HANSEN, J. and B. Perry. 1994. The epidemiology, diagnosis and control of helminth parasites of ruminants. International Laboratory for Research on Animal Disease. Nairobi, Kenya. 171 p.
- KAPLAN, R. M. 2004. Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. *Trends Parasitol.* 10: 477-481.
- KAPLAN, R.M., J.M. Burke, T.H. Terrill, J.E. Miller, W.R. Getz, S. Mobini, E. Valencia, M.J. Williams, L.H. Williamson, M. Larsen, and A.F. Vatta. 2004. Validation of the FAMACHA eye color chart for detecting clinical anemia in sheep and goats on farms in the southern United States. *Vet. Parasitol.* 123: 105-120.
- MALAN, F.S., J.A. Van Wyk, and C.D. Wessels. 2001. Clinical evaluation of anaemia in sheep: early trials. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 68: 165-174.
- MOORS, E. and M. Gaulty. 2009. Is the FAMACHA chart suitable for every breed? Correlations between FAMACHA_ scores and different traits of mucosa colour in naturally parasite infected sheep breeds. *Vet. Parasitol.* 166: 108-111.
- MORALES, G., L.A. Pinto, E. León, Z. Rondon, A. Guillén, C. Balestrini y M. Silva. 2002. Relación entre los parámetros hematológicos y el nivel de infestación parasitaria en ovinos de reemplazo. *Vet. Trop.* 27: 87-98.
- MORTEO, G. R., G. R. González, H. G. Torres, O. G. Nuncio, C. M. Becerril P., S. J. Gallegos y I. E. Aranda. 2003. Variación fenotípica de ovinos Pelibuey a la infestación con nematodos gastrointestinales. Memorias del segundo seminario sobre producción intensiva de ovinos. Villahermosa, Tab., México. pp. 33-38.
- NUNCIO, O. M., A. F. Escobedo, P. JA. Ramírez, G. R. González y R. M. Gómez. 2004. Diagnóstico de la incidencia de endoparásitos en ovinos de Tabasco. 3er. Seminario de producción intensiva de ovinos. Villahermosa, Tab., México. pp. 19-25.
- PEREIRA, D. 2004. Utilización del análisis coproparasitario y test de resistencia antihelmíntica en los métodos de control integrados de los parásitos gastrointestinales de los ovinos. Métodos gastrointestinales de los ovinos y saguaype en ovinos y bovinos. Instituto Nacional de Investigación. Uruguay. Serie de Actividades de Difusión N° 359, pp. 21-24.
- ROJAS, H. S., S. I. Gutiérrez, P. J. Olivares y M. T. Valencia A. 2007. Prevalencia de nematodos gastrointestinales en ovinos en pastoreo en la parte alta del municipio de Cuetzala del Progreso, Gro., México. *Rev. Electrónica Vet.* 8(9): 1-7.
- RUSSEL, A.J.F., J.M. Doney, R.G. Gunn. 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci. Camb.*, 72: 451-454.
- SAS (SAS Institute Inc.). 1999. User's Guide. Statistics Version 8. Sixth edition. SAS Inc. Cary, NC. USA. 956 pp.
- TIBBO, M. K., J. Aragaw, B. Philipsson, A. Malmfors, W. Näsholm, E. O. Ayalew J. 2008. A field trail of production and financial consequences of helminthosis control in sheep production in Ethiopia. *Prev. Vet. Med.* 84: 152-160.
- TORRES A., J. F. de J. 2005. Avances en el uso de métodos alternativos para el control de nematodos gastrointestinales en ovinos. Memoria del IV Seminario de producción de ovinos en el trópico. Villahermosa, Tab., México. pp. 110-118.
- VAN W., J.A. and G.F. Bath. 2002. The FAMACHA system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual. *Animals for treatment. Vet. Res.* 33: 509-529.
- VATTA, A. F., R.C. Krecek, L. M.J. Van, P.W. Motswatswe, R.J. Grimbeek, W. E. F. Van, J.W. Hansen. 2002. *Haemonchus* ssp. In Sheep female under resource poor conditions in south Africa- effect on Haematocrito, conjunctival mucous membrane colour and body condition. *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 73:119-123.

Evaluación productiva de cerdas vientre suplementadas con zinc en el último tercio de gestación

Productive Evaluation of Sows Supplemented with Zinc in the Last Third of Gestation

Ramón Florencio García-Castillo^{1*}, Mayra Gabriela Jaime-Torres¹,
Antonio Valdez-Oyervides², Jaime Salinas-Chavira³, Juan David
Hernández-Bustamante¹, Jorge Ramsy Kawas-Garza⁴

¹Departamento de Nutrición Animal, ²Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: rgarcas2009@hotmail.com (*Autor responsable). ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Km 5, Carretera Ciudad Victoria-Mante. Ciudad Victoria, Tamps., México. ⁴Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Fco. Villa s/n, Ex Hacienda El Canadá, General Escobedo, C.P. 66050, N. L., México.

RESUMEN

El mejoramiento de la productividad en industria porcina requiere aumento en el número y peso de lechones nacidos vivos por cerda, del mejor comportamiento de la madre y del incremento del número de lechones al destete. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dietas para cerdas, basadas en sorgo y soya, enriquecidas con zinc orgánico, durante el último tercio de la gestación. Se utilizaron 18 cerdas de la craza comercial Yorkshire, Hampshire, Duroc y Landrace, de segundo y tercer parto, distribuidas al azar en tres grupos de seis animales. En el último tercio de gestación, se adicionó a la dieta, zinc Availa®Zinc 100 de Zinpro por cada 100 kg de alimento. Los tratamientos fueron: testigo sin adición de zinc y dosis baja (18.2 g) y dosis alta (36.3 g) de suplemento de zinc. Las dietas fueron isoproteicas (13.8 % PC) e isoenergéticas (3.607 Mcal Em/kg MS y 0.66% Lis). Se registró el número y peso de lechones al nacer, y el peso de la camada; esta práctica se repitió al destete. Los datos se analizaron en un diseño completamente al azar con igual número de repeticiones. El número y peso de lechones al nacer y al destete no fue afectado por la suplementación de zinc a dieta ($p \geq 0.05$), mientras que el peso de la camada al destete presentó diferencias ($p \leq 0.038$). El mayor peso de la camada al destete (66.02 kg) se obtuvo con la dosis baja del suplemento. La ganancia de peso y la mortalidad por lechón no fueron afectadas por la adición de zinc. Sin embargo, se observó un mayor número de lechones al nacer y al destete, y mejor peso al nacer, en las hembras suplementadas con la dosis baja de zinc, así como en el peso de la camada al destete. Se concluye que la producción de las hembras vientre aumenta al suplementar la dieta con 18.2 g del suplemento de zinc por cada 100 kg de alimento.

Palabras clave: *Sus scrofa domestica*, cerdas vientre, suplementación con zinc, lechones, producción.

ABSTRACT

Improving productivity in swine industry requires an increase in the number and weight of piglets born alive per sow, the best performance of the mother and the increase in the number of piglets at weaning. The objective of this research was to evaluate the effect of sow diets based on sorghum and soybeans fortified with organic zinc, during the last third of gestation. Eighteen sows were used in the commercial breeding Yorkshire, Hampshire, Duroc and Landrace second and third birth, randomly distributed into three groups of six animals. In the last third of gestation, Availa® zinc Zinpro Zinc 100 per 100 kg of food. The treatments were: control without addition of zinc and low dose (18.2) and high dose (36.3) g of zinc supplement. Diets were isoproteic (13.8% CP) and isocaloric (3.607 Mcal Em/kg MS y 0.66% Lis). We recorded the number and weight of piglets at birth and litter weight, this practice was repeated at weaning. The data were analyzed in a completely randomized design with equal number of repetitions. The number and weight of piglets at birth and at weaning was not affected by dietary zinc supplementation ($p \geq 0.05$), while litter weight at weaning showed significant differences ($p \leq 0.038$). The largest litter weight at weaning (66.02 kg) was obtained with the low dose of the supplement. Weight gain per piglet and mortality were not affected by the addition of zinc. However, a higher number of piglets at birth and at weaning were observed, and better birth weight in females supplemented with low dose of zinc as well as in the litter weight at weaning. We conclude that the production of the females belly increases with supplementing the diet with 18.2 g of zinc supplement per 100 kg of food.

Key words: *Sus scrofa domestica*, Sows, zinc supplementation, piglet, production.

Recibido: Agosto, 2011 • Aprobado: Agosto, 2013

INTRODUCCIÓN

La productividad de las hembras del cerdo doméstico (*Sus scrofa domestica*) se evalúa de acuerdo con el número de lechones que produce en un año, pero esto depende de la cantidad de lechones nacidos vivos y de los que llegan al destete. Durante los primeros dos tercios de gestación, los requerimientos nutricionales son ligeramente superiores a los de mantenimiento. En este periodo los fetos alcanzan 8% del peso que tendrán al nacer. En el último tercio, las necesidades fisiológicas se incrementan considerablemente (NRC, 1998). En esa fase ocurre 70% del desarrollo y crecimiento de los fetos (García *et al.*, 2001).

Las deficiencias de elementos como el zinc, durante el último tercio de gestación, pueden causar retardo en el crecimiento, diarrea, lesiones oculares y de piel, pérdida de apetito, pérdida de peso, tardanza en la cicatrización de las heridas, anomalías en el sentido del olfato y mala absorción de minerales (NRC, 1988, 1998).

Diferentes estudios han reportado que al agregar zinc orgánico en dietas para cerdas gestantes, se puede mejorar su comportamiento productivo (Hedges *et al.*, 1976; Hill *et al.*, 1986 y Swinkels *et al.*, 1991). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dietas para cerdas, basadas en sorgo (*Sorghum vulgare*) y soya (*Glycine max*) enriquecidas con zinc orgánico, durante el último tercio de la gestación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 18 hembras vientre de segundo y tercer parto de las razas: Yorkshire, Hampshire, Duroc y Landrace. Las cerdas se distribuyeron al azar en grupos de seis individuos en tres corrales, de 242 m² cada uno. Los corrales se equiparon con comederos individuales y bebederos automáticos.

La dieta de las cerdas gestantes se complementó con zinc (Availa®Zn 100 de Zinpro) durante el último tercio de gestación (37 d antes del parto). Los tratamientos aplicados fueron los siguientes: T1 testigo, sin añadir zinc; T2 con 18.2 g de zinc por cada 100 kg de alimento; y T3 con 36.3 g de zinc por cada 100 kg de alimento. Las dietas isoproteicas e isoenergéticas contenían 13.8% PC, 3.607 Mcal EM/kg MS y 0.66% Lis (Cuadro 1).

Las muestras se analizaron para determinar materia seca (MS) a 105 °C, humedad y extracto etéreo

Cuadro 1. Dieta experimental suplementada con zinc orgánico* para cerdas en el último tercio de gestación.

Ingredientes	Contenido (kg)
Sorgo molido	690.0
Torta de soya	120.0
Salvadillo	145.0
Cebo de res	10.0
Suplemento No. 40 [Vit-Min]**	35.0
Total	1000.0
Proteína (%)	13.8
Lisina (%)	0.66
Energía metabolizable [Mcal/kg MS]	3.607

*Availa®Zn 100 de Zinpro (0.0, 18.2 y 36.3 g/100 kg de alimento).

**Suplemento No. 40: Proteína cruda, 17%; Ca, 6.5%; P, 3.9%; Na, 0.5 y lisina, 3.0

(EE). El contenido de proteína cruda (PC) se analizó según el procedimiento Kjeldahl, % N x 6.25 (AOAC, 1997). Los contenidos de TND, energía digestible (ED) y energía metabolizable (EM) se estimaron de acuerdo a Crampton y Harris (1969). Se ofreció a las cerdas 2.0 kg de alimento por día, siempre por la mañana, a la misma hora.

Al momento del parto, se registró el número de lechones, el peso individual de los lechones y el peso de la camada; esta práctica se repitió hasta el destete (21 d de edad). La ganancia de peso total y por día se determinó por diferencia de peso al destete y peso al nacer.

Se aplicó un diseño completamente al azar con igual número de repeticiones Steel y Torrie (1980) para analizar estadísticamente los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se observaron diferencias ($p \geq 0.5$) en el número y peso de lechones por camada al nacimiento, ni al destete (a los 21 d) por la adición de zinc. Con excepción del peso de la camada al destete fue diferente ($p \leq 0.038$). El peso de la camada al destete fue de 45.6, 66.02 y 47.01 para testigo y tratamientos conteniendo 18.2 g y 36.3 g de zinc/100 kg de alimento, respectivamente. No hubo diferencia en la ganancia de peso (kg) en el lechón por día. El por ciento de destete y mortalidad (%) no fue afectado por la adición de zinc (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento de lechones de hembras vientre alimentadas con dietas suplementadas con zinc* en el último tercio de gestación.

Variables	T1	T2*	T3*	EE	P>F
Lechones por camada al nacer (No.)	7.5	8.33	7.0	1.55	0.698
Peso al nacer (kg)	1.623	1.854	1.739	0.114	0.379
Peso camada al nacer (kg)	12.17	15.44	12.17	2.149	0.118
Lechones por camada al destete	5.0	7.2	5.3	1.38	0.229
Peso al destete (kg)	9.12	9.17	8.87	0.536	0.919
Peso por camada (kg)	45.60b	66.02a	47.01b	10.81	0.037
Ganancia de peso/día/lechón (kg)	0.357	0.348	0.340	0.032	0.902
Destete (%)	66.67	86.40	75.70	8.136	0.668
Mortalidad (%)	33.33	14.0	24.3	10.7	0.556

Letras diferentes en la misma fila son diferentes significativamente ($p \leq 0.05$). *Availa® Zinc 100 Zinpro (T1, 0; T2, 18.2 y T3, 36.3 g/100 kg de alimento). EE = Error estándar de la media; P>F = Probabilidad

Resultados similares a los encontrados en esta investigación reportan Hedges *et al.* (1976) al adicionar 33 y 83 ppm de zinc a dietas de cerdas vientre, a través de cinco pariciones encuentran nivel de 33 ppm óptimo para comportamiento en gestación, mas no para lactancia. De igual manera, Hill *et al.* (1986) y Swinkels *et al.* (1991), no encontraron diferencias en la disponibilidad entre una fuente de zinc orgánico y otra fuente de zinc inorgánico. Cerdas jóvenes alimentadas con dietas deficientes en zinc durante la gestación y lactancia produjeron menos cerdos y más pequeños (Hill *et al.*, 1983). Niveles de 5,000 ppm de óxido de zinc, evaluado a través de dos pariciones, redujeron el tamaño y peso de la camada de cerdos al destete (Hill y Miller, 1983). Sin embargo, el zinc a partir de complejos enzimáticos parece tener biodisponibilidad aproximadamente igual al zinc en sulfato de zinc. Por otro lado, la disponibilidad de zinc presente en los cereales y proteínas vegetales es baja (Schell y Kornegay, 1996 y Hill *et al.*, 1986).

De ahí la necesidad de suplementar este elemento. Los incrementos de peso por día por lechón (kg) obtenidos en esta investigación fueron superiores a lo establecido por NRC (1988) para animales de edad similar. Además, se observa que a mayor destete (%) se presentó menor mortalidad y viceversa. El destete (%) es la respuesta al instinto materno, producción de leche de la madre que pudo haber mejorado al adicionar zinc. Se observó un mayor número de lechones al nacer y al destete y mejor peso al nacer en los partos de las hembras alimentadas con la dosis

baja del suplemento de zinc. El número de lechones al nacer y al destete persistió y se manifestó en los valores del peso de la camada al destete.

CONCLUSIONES

La ganancia de peso y la mortalidad por lechón no fueron afectadas por la adición de zinc. Se observó un aumento numérico en la producción de las hembras vientre suplementadas con 18.2 g del suplemento de zinc Availa®Zinc 100 de Zinpro por cada 100 kg de alimento. Esta respuesta pudo deberse a la disponibilidad del zinc utilizado en la dieta; o quizás, el producto utilizado durante el último tercio de gestación pudiera tener efecto benéfico en el desarrollo intestinal del lechón. Estos cambios pueden mejorar la función digestiva y absorbente del intestino. Los lechones más pesados al nacer tuvieron mayores posibilidades de llegar al destete.

LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1997. Official methods of analysis. 15th Ed. Washington, D.C. 1018 p.
- CRAMPTON, E.W. and L.E. Harris. 1969. The use of feedstuffs in the formulation of livestock rations. 2nd Edition. W.H. Freeman Ed. Applied animal nutrition. San Francisco, USA. pp. 56-86.

- GARCÍA C., R.F., H. Gutiérrez y R. Morones. 2001. Cromo L-metionina en dietas basadas en sorgo y soya en cerdas primerizas. *Agraria. Nueva Época*. 1(3): 6-11.
- HEDGES, J.D., E.T. Kornegay, and H.R. Thomas. 1976. Comparison of dietary zinc levels for reproducing sows and the effect of dietary zinc and calcium on the subsequent performance of their progeny. *J. Anim. Sci.* 57: 106-113.
- HILL, D.A., E.R. Jr. Peo, A.J. Lewis, and J.D. Crenshaw. 1986. Zinc-amino acid complexes for swine. *J. Anim. Sci.* 63: 121.
- National Research Council (NRC). 1988. Protein and amino acids (Ch. 2). *Nutrient Requirements of Swine*. 9th Ed. National Academy Press. Washington, D.C. pp 8-10.
- National Research Council (NRC). 1998. Proteins and amino acids (Ch. 2); Nutrient requirement tables (Ch. 10); Composition of feed ingredients (Ch. 11). *Nutrient Requirements of Swine*. 10th Ed. National Academy Press, Washington, D.C. pp: 16-30, 110-142.
- SCHELL, T.C. and E.T. Kornegay. 1996. Zinc concentration in tissues and performance of weanling pig fed pharmacological levels of zinc from ZnO, Zn-methionine, Zn-lysine, or ZnSO₄. *J. Anim. Sci.* 74:1584-1593.
- STEEL R., G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrics Approach. 2nd Ed. McGraw-Hill, NY, USA. 622 p.
- SWINKELS J., W.G-M., E.T. Kornegay, K.E. Jr. Webbs, and M.D. Lindemann. 1991. Comparison of inorganic and organic zinc chelate in zinc depleted and repleted pigs. *J. Anim. Sci.* 69(Suppl.1) 358(Abstr.).

Un criterio integral de causalidad para procesos autorregresivos y de promedios móviles

An Integral Causality Criterion for Autoregressive and Moving average Processes



Julio César Chacón Hernández

Departamento de Estadística y Cálculo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: july2019@hotmail.com

RESUMEN

Este trabajo trata sobre la idea de causalidad de un proceso autorregresivo y de promedios móviles (ARMA, por sus siglas en inglés). Se discute la relevancia de este concepto en el problema de determinar la función de autocovarianza del proceso, y se analiza un criterio frecuentemente encontrado en la literatura para determinar la causalidad de un proceso con polinomio autorregresivo de segundo grado, mostrando que dicho criterio no es universalmente válido. La contribución principal del trabajo es la caracterización de la noción de causalidad de un polinomio por medio de una integral sobre el círculo unitario del plano complejo.

Palabras clave: Modelos autorregresivos y de promedios móviles, series de tiempo estacionarias, integral de una función, círculo unitario, polinomio lineal

ABSTRACT

This work is about the causality of an autoregressive and moving average (ARMA) process. The importance of this idea to determine the autocovariance function of the process is analyzed, and an algebraic criterion for the causality of a second order autoregressive polynomial is briefly discussed; such a criterion is frequently stated in the literature, and it is proved that is not valid in general. The main contribution of the job is the formulation of a new causality criterion in terms of a complex integral on the unit circle.

Key words: Autoregressive moving average, stationary time series, an integral of a function, unit circle, linear polynomial

INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata sobre la clase de series de tiempo estacionarias conocida como procesos autorregresivos y de promedios, brevemente referida como procesos ARMA; el principal interés se centra en la idea de causalidad del proceso. El principal objetivo es establecer un criterio para decidir si un proceso es o no causal.

En términos generales, una serie de tiempo es una sucesión $\{X_t\}$ de variables aleatorias definidas sobre un mismo espacio de probabilidad, donde la variable aleatoria X_t se interpreta como la observación que se realiza en el tiempo t , el cual, en el caso considerado en este trabajo, puede variar en el conjunto de los números enteros. El rasgo fundamental de la sucesión $\{X_t\}$ es que en contraste con el supuesto comúnmente adoptado en la teoría estadística



Recibido: Agosto 2010 • Aprobado: Septiembre 2013

clásica (Borovkov, 1999; Dudewica y Mishra, 1998; Shao, 2010; Wackerly *et al.*, 2009), no se supone la independencia de las variables X_p , ni que éstas tengan la misma distribución, características que permiten incluir en el estudio una gran variedad de observaciones que surgen en la práctica (Brockwell y Davis, 1998; Shumway y Stoffer, 2006). La serie $\{X_t\}$ es estacionaria cuando propiedades relevantes de un segmento (X_1, X_2, \dots, X_n) son las mismas que las del segmento trasladado $(X_{1+h}, X_{2+h}, \dots, X_{n+h})$ para cada entero h ; como no se hace algún supuesto sobre la distribución de los datos X_p , las propiedades importantes son las que se refieren a sus momentos. Formalmente, una serie es estacionaria si

- (a) $E[X_t] = \mu$ no depende de t ;
- (b) Para cada s y t , $\text{cov}(X_s, X_t)$ está bien definida y depende sólo de la diferencia entre s y t .

Estas propiedades permiten definir la función de autocovarianza asociada a la serie estacionaria

$\{X_t\}$ mediante

$$\gamma(h) = E[X_{t+h}X_t], \quad h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.1)$$

la cual captura la estructura de dependencia lineal entre las diversas variables que componen la serie (Graybill, 2000, 2001). Las series estacionarias son parte esencial del denominado *modelo clásico*, el cual se adapta bien como modelo a una gran variedad de datos que surgen en la práctica.

Este trabajo se organiza en varias secciones, primero se introduce la familia de procesos ARMA, luego se analiza la existencia de tales procesos. En seguida, se define la idea de causalidad, se discute la relevancia de este concepto y se analiza un criterio frecuentemente encontrado en la literatura para decidir si un polinomio autorregresivo es causal, mostrando que tal criterio no es universalmente válido. Después, se introduce la idea de integral de una función sobre el círculo unitario, utilizada para enunciar el nuevo criterio de causalidad que se propone en este trabajo. Dicho criterio se demuestra para el caso de un polinomio lineal y, finalmente, para el caso general.

La exposición concluye mostrando la implementación del criterio en el lenguaje de programación *R*.

Procesos ARMA

En esta sección se introduce una clase muy importante de procesos estacionarios, a saber, la familia de

procesos autorregresivos y de promedios móviles, comúnmente referida como la clase ARMA de series estacionarias.

Definición 2.1. *Considere un ruido blanco $\{Z_t\} \sim WN(0, \sigma^2)$ y sea $\{X_t\}$ una serie estacionaria con media nula.*

(i) *La serie $\{X_t\}$ es un proceso de promedios móviles de orden q (MA (q)) si existen números (reales) $\theta_1, \dots, \theta_q$ tales que*

$$X_t = Z_t + \theta_1 Z_{t-1} + \dots + \theta_q Z_{t-q}$$

(ii) *El proceso $\{X_t\}$ es autorregresivo de orden p (AR (p)) si*

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + Z_t$$

para números (reales) $\theta_1, \dots, \theta_p$;

(iii) *La serie $\{X_t\}$ es un proceso autorregresivo y de promedios móviles de orden (p, q) –de forma abreviada, (ARMA (p, q))– si existen números ϕ_1, \dots, ϕ_p y $\theta_1, \dots, \theta_q$ tales que*

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + Z_t + \theta_1 Z_{t-1} + \dots + \theta_q Z_{t-q}. \quad (2.1)$$

Son varias las razones por las que los procesos ARMA desempeñan un papel importante en la teoría y aplicaciones de las series de tiempo: primeramente, el problema de pronóstico puede analizarse de manera sencilla para esos procesos, y algoritmos generales —como el algoritmo de innovaciones— se implementan de manera simple y eficiente para estos procesos. Por otro lado, es claro que ningún proceso real obedecerá de manera exacta a un modelo teórico, pero para cualquier proceso estacionario $\{Y_t\}$ es posible seleccionar un proceso ARMA $\{X_t\}$ cuya función de autocovarianza está arbitrariamente cercana a la de $\{Y_t\}$, en el sentido de que $\max_h |\gamma_x(h) - \gamma_y(h)|$ es tan pequeña como se desee, si el orden (p, q) y los coeficientes del proceso ARMA se eligen adecuadamente (Brockwell y Davis, 1998; Fuller, 1988).

Si ϕ_1, \dots, ϕ_p y $\theta_1, \dots, \theta_q$ son como en la Definición 2.1, los polinomios $\phi(z)$ y $\theta(z)$ se especifican mediante

$$\theta(z) = 1 + \theta_1 z + \theta_2 z^2 + \dots + \theta_q z^q \quad (2.2)$$

y

$$\phi(z) = 1 - \phi_1 z - \dots - \phi_p z^p, \quad (2.3)$$

los cuales se denominan polinomio de promedios móviles y autorregresivo, respectivamente. Evaluando estos polinomios en el operador de retardo B, se obtiene que

$$\begin{aligned} \theta(B)Z_t &= (1 + \theta_1 B + \dots + \theta_q B^q)Z_t \\ &= Z_t + \theta_1 Z_{t-1} + \dots + \theta_q Z_{t-q} \end{aligned}$$

y

$$\begin{aligned} \phi(B)X_t &= (1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)X_t \\ &= X_t - \phi_1 X_{t-1} - \dots - \phi_p X_{t-p} \end{aligned}$$

de tal manera que las ecuaciones que satisfacen un proceso $\{X_t\}$ cuando es MA(q), AR(p) o ARMA(p, q) pueden escribirse como

$X_t = \theta(B)Z_t$, $\phi(B)X_t = Z_t$ y $\phi(B)X_t = \theta(B)Z_t$, respectivamente. Las siguientes secciones se ocupan de los problemas de existencia y unicidad de soluciones a la ecuación (2.1). Más explícitamente, se analizarán las siguientes preguntas:

Dado un ruido blanco $\{Z_t\}$ y los polinomios $\theta(z)$ y $\phi(z)$, ¿existe un proceso estacionario $\{X_t\}$ que satisfaga (2.1)?, y en caso afirmativo ¿es única la serie $\{X_t\}$?

Existencia

En esta sección se establece un criterio suficiente para garantizar que las ecuaciones (2.1) tengan una solución $\{X_t\}$. Las condiciones involucran a las raíces del polinomio autorregresivo $\phi(z)$.

Primeramente, note que si $\phi(z) = 1$, las ecuaciones (2.1) se reducen a

$$\begin{aligned} X_t &= \theta(B)Z_t \\ &= Z_t + \theta_1 Z_{t-1} + \dots + \theta_q Z_{t-q}, t=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \end{aligned}$$

ecuaciones que claramente tienen solución única. En adelante, se supondrá que $\phi(z)$ tiene grado $p > 1$, de manera que $\phi_p \neq 0$. En este caso, $\phi(z)$ posee p raíces, las cuales (pueden repetirse y) se denotarán mediante ξ_1, \dots, ξ_p :

$$\phi(\xi_i) = 0, i = 1, 2, \dots, p. \quad (3.1)$$

Debido a que $\phi(0) = 1$ (vea (2.3)), el polinomio autorregresivo se factoriza como

$$\begin{aligned} \phi(z) &= (1 - z/\xi_1)(1 - z/\xi_2) \cdots (1 - z/\xi_p) \\ &= \prod_{i=1}^p (1 - z/\xi_i^{-1}). \end{aligned} \quad (3.2)$$

Teorema 3.1. Si las raíces del polinomio autorregresivo $\phi(z)$ satisfacen

$$|\xi_i| \neq 1, i = 1, 2, \dots, p,$$

entonces las siguientes afirmaciones (i)-(iii) son válidas:

(i) La función $1/\phi(z)$ se expande en serie de Laurent alrededor del círculo unitario $|z|=1$ (Alfhors, 1980; Rudin, 1981, y Apostol, 1980). Más precisamente, existen constantes R_0 y R_1 con $R_0 < 1 < R_1$ tales que

$$\frac{1}{\phi(z)} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \phi_k z^k, R_0 < |z| < R_1 \quad (3.3)$$

donde la serie converge absolutamente en la región indicada:

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} |\phi_k| |z|^k < \infty, R_0 < |z| < R_1$$

(ii) Considere la sucesión $\psi = \{\psi_k, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ y el correspondiente filtro $\psi(B)$. Si la serie estacionaria, $\{X_t\}$ se define como

$$X_t = (B)\theta(B)Z_t, t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

entonces $\{X_t\}$ satisface las ecuaciones ARMA en (2.1).

(iii) Si $\{X_t\}$ y $\{\tilde{X}_t\}$ son dos soluciones a las ecuaciones (2.1), entonces $X_t = \tilde{X}_t$ para todo t .

De acuerdo con este resultado, cuando las raíces de $\phi(\cdot)$ no tienen módulo 1, entonces existe un proceso estacionario que satisface las ecuaciones ARMA, y dicho proceso es único. Una demostración detallada de este teorema puede encontrarse en Brockwell y Davis (1998).

Causalidad

De acuerdo con el Teorema 3.1, cuando el polinomio autorregresivo $\phi(z)$ no tiene raíces sobre el círculo unitario, las ecuaciones $\phi(B)X_t = \theta(B)Z_t$ tienen la única solución

$$X_t = \sum_{k=0}^{\infty} \psi_k Z_{t-k} \quad (4.1)$$

donde $\psi(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \psi_k Z^k = \theta(z) / \varphi(z)$. La perturbación Z_t se manifiesta en el tiempo t , así que

$$\text{si } \psi_k = 0 \text{ para } k < 0, \text{ entonces } X_t = \sum_{k=0}^{\infty} \psi_k Z_{t-k}$$

y la observación X_t es una función de las perturbaciones Z_r que han ocurrido antes de t , o en el tiempo t . En contraste, si $\psi_k \neq 0$ para algún $k < 0$, entonces la suma en (4.1) contiene el término $\psi_k Z_{t-k}$, en el cual $t - k > t$, indicando que Z_{t-k} se manifestará en un tiempo posterior a t , de modo que X_t depende de perturbaciones que surgirán en el futuro, situación que no se antoja razonable. Cuando $\psi_k = 0$ para $k < 0$, se dice que la serie $\{X_t\}$ es una función causal de $\{Z_t\}$. A partir de la demostración del Teorema 3.1, es claro que para que un coeficiente ψ_k con $k < 0$ sea no nulo, es necesario y suficiente que el polinomio autorregresivo $\phi(z)$ tenga raíces dentro del círculo unitario. Por lo tanto, la causalidad del proceso $\{X_t\}$ depende sólo del polinomio autorregresivo.

Definición 4.1. Un polinomio $\phi(z)$ de grado p mayor a cero se denomina causal si y sólo si todas sus raíces $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_p$ se ubican fuera del disco unitario, esto es,

$$|\xi_i| > 1, i = 1, 2, \dots, p$$

Debido a que determinar las raíces de un polinomio $\phi(z)$ no es, en general, una tarea sencilla es conveniente disponer de un criterio que permita decidir si el polinomio es causal o no, *sin determinar sus raíces*. En la literatura, es posible encontrar enunciado uno de tales criterios para polinomios de grado dos, el cual se discute a continuación. Como se verá después del siguiente análisis, el problema de construir un criterio para la causalidad de un polinomio es realmente interesante.

Ejemplo 4.1. En la literatura se propone el siguiente criterio para la causalidad de un polinomio

$$\phi(z) = 1 - \phi_1 z - \phi_2 z^2$$

de grado dos con coeficientes reales. Para que $\phi(z)$ sea un polinomio causal es necesario (Brockwell y Davis, 1998) que los coeficientes ϕ_1, ϕ_2 satisfagan

$$\begin{aligned} \phi_1 z + \phi_2 &< 1, \\ \phi_1 z - \phi_2 &< 1, \\ |\phi_2| &< 1. \end{aligned} \quad (4.2)$$

estas condiciones se proponen como necesarias y suficientes en Shumway y Stoffer (2006).

A continuación se analizará la necesidad de las condiciones (4.2) para la causalidad de $\phi(z)$. Como antes, las raíces de $\phi(z)$ se denotarán mediante ξ_1 y ξ_2 . Utilizando $\varphi(z) = (1 - \xi_1^{-1}z)(1 - \xi_2^{-1}z)$ se desprenden las siguientes expresiones para los coeficientes ϕ_1 y ϕ_2 :

$$\phi_1 = \frac{1}{\xi_1} + \frac{1}{\xi_2}, \phi_2 = \frac{1}{\xi_2 \xi_1} \quad (4.3)$$

Para verificar la necesidad de las condiciones (4.2) debe mostrarse que

$$|\xi_1| > 1 \text{ y } |\xi_2| > 1 \Rightarrow (4.2) \quad (4.4)$$

Considere los siguientes dos casos:

Caso 1: Las raíces de ϕ son genuinamente complejas, en el sentido de que su parte imaginaria es no nula:

$$\xi_1 = a + ib, \text{ y } \xi_2 = a - ib, b \neq 0.$$

En estas circunstancias

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \frac{1}{a+ib} + \frac{1}{a-ib} = \frac{2a}{a^2+b^2}, \phi_2 \\ &= -\frac{1}{(a+ib)(a-ib)} = \frac{1}{a^2+b^2} \end{aligned}$$

así que

$$\phi_1 = \phi_2 = \frac{2a+1}{a^2+b^2}$$

Observe ahora que

$$\phi_1 - \phi_2 < 1 \Leftrightarrow \frac{2a+1}{a^2+b^2} < 1$$

$$\Leftrightarrow 2a+1 < a^2+b^2$$

$$\Leftrightarrow 2a < (a-1)^2 + b^2$$

Así, si (4.4) ocurre, entonces debe tenerse la siguiente implicación:

$$a^2 + b^2 > 1 \Rightarrow 2 < (a-1)^2 + b^2.$$

Sin embargo, poniendo $a=1.01$ y $b=0.01$ se sigue que $a^2 + b^2 > 1$ y $(a-1)^2 + b^2 = 0.0002 < 2$, de manera que la implicación anterior no se satisface, por lo tanto en el caso actual, la afirmación (4.4) *no es correcta*.

Caso 2: Las raíces ξ_1 y ξ_2 son reales. En este contexto se analizarán tres casos exhaustivos.

(i) $\xi_1 > 0$ y $\xi_2 > 0$.

En esta situación, si (4.4) es válida, entonces la siguiente afirmación es correcta:

$$\xi_1 > 1 \text{ y } \xi_2 > 1 \Rightarrow \phi_1 - \phi_2 < 1$$

Por medio de (4.3) esto es equivalente a

$$\xi_1 > 1 \text{ y } \xi_2 > 1 \Rightarrow \frac{\xi_2 + \xi_1 + 1}{\xi_1 \xi_2} < 1$$

Sin embargo, poniendo $\xi_1 = 2 = \xi_2$, no es difícil ver que la anterior implicación es falsa. En consecuencia, (4.4) falla también en el contexto actual.

(ii) $\xi_1 < 0$ y $\xi_2 < 0$. En estas condiciones, $\xi_1 \xi_2 > 0$ y

$$\left. \begin{matrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \begin{cases} \phi_1 - \phi_2 = \frac{\xi_2 + \xi_1 + 1}{\xi_1 \xi_2} < \frac{\xi_1}{\xi_1 \xi_2} = \frac{1}{\xi_2} < 0 < 1 \\ \phi_1 + \phi_2 = \frac{\xi_2 + \xi_1 - 1}{\xi_1 \xi_2} < \frac{\xi_1}{\xi_1 \xi_2} = \frac{1}{\xi_2} < 0 < 1 \\ |\phi_2| = \frac{1}{\xi_1 \xi_2} = \frac{1}{\xi_1 \xi_2} < 1 \end{cases}$$

Así, (4.4) ocurre en el presente contexto.

(iii) Las raíces son reales con diferente signo. En este caso $\xi_1 \xi_2 < 0$ y, sin pérdida de generalidad, puede suponerse que $\xi_1 < 0$ y $\xi_2 < 0$.

Note ahora que

$$\xi_1 < -1 \text{ y } \xi_2 > 1 \Rightarrow \phi_2 < 0 \text{ y } |\phi_2| = \frac{1}{|\xi_1| \xi_2} < 1$$

$$\xi_1 < -1 \text{ y } \xi_2 > 1 \Rightarrow \xi_1 \xi_2 < 0, \xi_2 > 1 \text{ y } \xi_1 + \xi_2 + 1 > \xi_1$$

$$\Rightarrow \xi_2 > 1 \text{ y } \frac{\xi_2 + \xi_1 + 1}{\xi_1 \xi_2} < \frac{1}{\xi_2}$$

$$\Rightarrow \frac{\xi_2 + \xi_1 + 1}{\xi_1 \xi_2} < 1$$

$$\Rightarrow \phi_1 - \phi_2 < 1$$

$$\Rightarrow \phi_1 + \phi_2 < 1$$

donde la penúltima implicación se debe a (4.3), y la desigualdad $\phi_2 < 0$ fue utilizada en el último paso. Las dos últimas relaciones desplegadas implican que (4.4) ocurre en las presentes circunstancias.

Integrales sobre el círculo unitario

El criterio de causalidad para un polinomio (z) que se presenta en la siguiente sección involucra la idea de integral de una función sobre el círculo de radio 1 en el plano complejo, concepto que se introduce a continuación. Primeramente, defina

$$C = \{z \mid z \text{ es un número complejo con } |z| = 1\}.$$

Definición 5.1. Dada una función continua, $f(\cdot)$ sobre el círculo C , la integral de f sobre C se denota mediante $\int_C f(z) dz$ y se define como

$$\int_C f(z) dz = \int_{-\pi}^{\pi} f(e^{i\lambda}) e^{i\lambda} d\lambda$$

La racionalidad detrás de esta especificación proviene de la observación de que, cuando λ varía en $(-\pi, \pi]$, el punto $z = e^{i\lambda} = \cos(\lambda) + i\sin(\lambda)$ recorre todo el círculo C una vez y $dz/d\lambda = ie^{i\lambda}$. Note que si f y g son dos funciones continuas definidas en C , entonces para todos los números complejos a y b

$$\int_C [af(z) + bg(z)] dz = a \int_C f(z) dz + b \int_C g(z) dz$$

es decir, la integral sobre C es una transformación lineal, y

$$\left| \int_C f(z) dz - \int_C g(z) dz \right| \leq \int_{-\pi}^{\pi} |f(e^{i\lambda}) - g(e^{i\lambda})| d\lambda; \quad (5.1)$$

vea, por ejemplo, Apostol (1980), o Royden (2003). Ahora se ilustrará esta idea en un caso muy simple y útil.

Ejemplo 5.1. Si n es un entero y $f(z) = z^n$, entonces $f(e^{i\lambda}) = e^{in\lambda}$ y entonces

$$\int_C z^n dz = i \int_{-\pi}^{\pi} e^{in\lambda} e^{i\lambda} d\lambda = i \int_{-\pi}^{\pi} e^{i(n+1)\lambda} d\lambda$$

Por lo tanto, si $n \neq -1$, utilizando la función $\lambda \mapsto e^{i\lambda}$ tiene periodo 2π ,

$$\int_C z^n dz = \frac{e^{i(n+1)\lambda}}{(n+1)} \Big|_{-\pi}^{\pi} = e^{i(n+1)\pi} - e^{-i(n+1)\pi} = 0,$$

mientras que

$$\int_C z^{-1} dz = i \int_{-\pi}^{\pi} e^{i0\lambda} d\lambda = i \int_{-\pi}^{\pi} d\lambda = 2\pi i.$$

En consecuencia

$$\int_C z^n dz = \begin{cases} 0, & \text{si } n \neq -1, \\ 2\pi i & \text{si } n = 1; \end{cases} \quad (5.2)$$

particularmente si $P(z) = p_0 + p_1 z + \dots + p_k z^k$ es un polinomio arbitrario de grado k , entonces $\int_C P(z) dz = 0$.

Criterio de causalidad

En esta sección se utiliza la idea de integral sobre el círculo unitario para obtener una fórmula para el número de raíces de un polinomio arbitrario $\phi(z)$, que se ubican dentro del círculo unitario. Primeramente, sean a_1, a_2, \dots, a_d las raíces diferentes de $\phi(z)$, de tal manera que

$$\phi(z) = c(z - a_1)^{m_1} \dots (z - a_d)^{m_d} = c \prod_{i=1}^d (z - a_i)^{m_i} \quad (6.1)$$

donde m_i es la multiplicidad de la raíz a_i de modo que

$$k = m_1 + \dots + m_d$$

es el grado del polinomio, y $c = (-1)^k \phi(0) / [a_1^{m_1} \dots a_d^{m_d}]$. Contando las multiplicidades, el número de raíces de $\phi(z)$ que se ubican dentro del círculo unitario es

$$\sum_{i: |a_i| < 1} m_i,$$

y el siguiente resultado establece que dicho número puede expresarse mediante una integral sobre el círculo unitario.

Teorema 6.1. Si $\phi(z)$ es un polinomio con raíces distintas a_1, a_2, \dots, a_d , cada una con multiplicidad m_1, m_2, \dots, m_d , respectivamente (como en (6.1)), y si $\phi(z) \neq 0$ para todo z tal que $|z|=1$, entonces

$$(i) \quad \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{\phi'(z)}{\phi(z)} dz = \sum_{i: |a_i| < 1} m_i$$

Por lo tanto,

(ii) El polinomio (z) es causal si, y sólo si,

$$\int_C \frac{\phi'(z)}{\phi(z)} dz = 0.$$

La expresión en la parte (i) de este teorema es conocida en la teoría de funciones de variable compleja, y se desprende de forma directa de la denominada fórmula de Cauchy (Alfhors, 1980; Rudin, 1984); sin embargo, hasta el mejor de los conocimientos del autor, esta idea no se ha usado directamente en el análisis de series de tiempo. Antes de abordar la demostración del Teorema 6.1 en forma general, primero se estudiará un caso particular sencillo.

El caso de un polinomio lineal

Considere un polinomio (z) de grado 1, de tal manera que $\phi(\cdot)$ se escribe como

$$(z) = c(z - a)$$

donde a es la única raíz de $\phi(z)$. En este caso $\phi'(z) = c$ y entonces

$$\frac{\phi'(z)}{\phi(z)} = \frac{c}{c(z - a)} = \frac{1}{z - a}$$

de manera que

$$\int_C \frac{\phi'(z)}{\phi(z)} dz = \int_C \frac{1}{z - a} dz$$

Usando esta relación, la parte (i) del Teorema 6.1 establece que, si $|a| \neq 1$, entonces

$$\frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{1}{z - a} dz = \begin{cases} 1, & \text{si } |a| < 1 \\ 0, & \text{si } |a| > 1. \end{cases} \quad (7.1)$$

El objetivo de esta sección es verificar esta expresión.

Lema 7.1. Si $|a| \neq 1$, entonces la fórmula (7.1) es válida.

Demostración. Suponga que $|a| < 1$. En este caso, para cada z tal que $|z|=1$ se tiene que

$$\frac{1}{z - a} = \frac{1}{z} \frac{1}{1 - az^{-1}} = \frac{1}{z} \sum_{k=0}^{\infty} a^k z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} a^k z^{-k-1}$$

donde la segunda igualdad se debe a la expansión $\left(\frac{1}{1-r} = \sum_{k=0}^{\infty} r^k\right)$ aplicada al caso $r=az^{-1}$; recuerde que $|z|=1$ y note que $|r| = |az^{-1}| = |a| < 1$, de manera que la aplicación de $\left(\frac{1}{1-r} = \sum_{k=0}^{\infty} r^k\right)$ es legítima. Ahora, defina $S_n(z)$ como la n -ésima suma parcial de la serie anterior, esto es,

$$s_n(z) = \sum_{k=0}^n a^k z^{-k-1} \quad (7.2)$$

y observe que

$$\left| \frac{1}{z-a} - s_n(z) \right| = \left| \sum_{k=n+1}^{\infty} a^k z^{-k-1} \right| \leq \left| \sum_{k=n+1}^{\infty} |a|^k \right| = \frac{|a|^{n+1}}{1-|a|}$$

Por lo tanto, aplicando la desigualdad (5.1) se desprende que

$$\begin{aligned} \left| \int_c \frac{1}{z-a} dz - \int_c S_n(z) dz \right| &\leq \int_{-\pi}^{\pi} \frac{|a|^{n+1}}{1-|a|} d\lambda \\ &= 2\pi \frac{|a|^{n+1}}{1-|a|}. \end{aligned}$$

y tomando límite conforme n tiende a ∞ , esta relación implica que

$$\int_c \frac{1}{z-a} dz = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_c S_n(z) dz \quad (7.3)$$

Observe ahora que para cada entero positivo n

$$s_n(z) = \sum_{k=0}^n a^k z^{-k-1} = z^{-1} + az^0 + a^2 z + \dots + a^n z^{-n-1},$$

de tal modo que

$$\begin{aligned} \int_c S_n(z) dz &= \int_c z^{-1} dz + a \int_c z^0 dz + a^2 \int_c z dz + \dots \\ &+ a^n \int_c z^{-n-1} dz; \end{aligned}$$

utilizando la igualdad (5.2) establecida en el Ejemplo 5.1, es claro que todas las integrales en el lado derecho se anulan, excepto la primera que es igual a $2\pi i$, y, por lo tanto, $\int_c S_n(z) dz = 2\pi i$ combinando esta relación con (7.3) se obtiene que

$$\frac{1}{2\pi i} \int_c \frac{1}{z-a} dz = 1 \quad \text{cuando} \quad |a| < 1,$$

de conformidad con (7.1).

Suponga que $|a| > 1$. En esta circunstancia observe que para cada z tal que $|z|=1$ se tiene que

$$\frac{1}{z-a} = \frac{1}{a} \frac{1}{1-za^{-1}} = \frac{1}{a} \sum_{k=0}^{\infty} z^k a^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} z^k a^{-k-1}$$

donde, como antes, la segunda igualdad se debe a la expansión $\left(\frac{1}{1-r} = \sum_{k=0}^{\infty} r^k\right)$ aplicada al caso $r = zar^{-1}$; note que, como $|z|=1$, se tienen las relaciones $|r|=|za^{-1}| = |a| < 1$, de manera que la aplicación de $\left(\frac{1}{1-r} = \sum_{k=0}^{\infty} r^k\right)$ es posible. Procediendo de manera similar al caso anterior, defina $S_n(z)$ como la n -ésima suma parcial de la serie que aparece en el desplegado precedente, es decir,

$$S_n(z) = \sum_{k=0}^n z^k a^{-k-1} \quad (7.4)$$

y note que

$$\left| \frac{1}{z-a} - S_n(z) \right| = \left| \sum_{k=n+1}^{\infty} z^k a^{-k-1} \right| \leq \left| \sum_{k=n+1}^{\infty} |a|^{-k-1} \right| = \frac{|a|^{-n-1}}{1-|a|^{-1}}$$

Combinando esta relación con la desigualdad (5.1), se concluye que

$$\begin{aligned} \left| \int_c \frac{1}{z-a} dz - \int_c S_n(z) dz \right| &\leq \int_{-\pi}^{\pi} \frac{|a|^{-n-1}}{1-|a|^{-1}} d\lambda \\ &= 2\pi \frac{|a|^{-n-1}}{1-|a|^{-1}}, \end{aligned}$$

y tomando el límite conforme n tiende a ∞ , esto implica que

$$\int_c \frac{1}{z-a} dz = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_c S_n(z) dz \quad (7.5)$$

Para concluir, note que para cada entero positivo n

$$\begin{aligned} S_n(z) &= \sum_{k=0}^n a^k z^{-k-1} = z^0 a^{-1} + za^0 + z^2 a + \\ &\dots + z^n a^{-n-1}, \end{aligned}$$

de tal modo que

$$\begin{aligned} \int_c S_n(z) dz &= a^{-1} \int_c z^0 dz + a^0 \int_c z dz + a^1 \int_c z^2 dz \\ &+ \dots + a^{-n-1} \int_c z^n dz; \end{aligned}$$

utilizando de nueva cuenta la igualdad (5.2) establecida en el Ejemplo 5.1, es claro que todas las integrales

del lado derecho se anulan, y entonces $\int_c S_n(z) dz = 0$; combinando esta relación c (7.5) se obtiene que

$$\frac{1}{2\pi i} \int_c \frac{1}{z-a} dz = 0 \quad \text{cuando} \quad |a| > 1,$$

completando la verificación de (7.1).

EL CASO GENERAL

En esta sección se establecerá el Teorema 6.1 para un polinomio arbitrario $\phi(\cdot)$ de grado positivo.

Demostración del Teorema 6.1. Factorice $\phi(z)$ como en (6.1), y suponga que ninguna de las raíces diferentes a_i tiene módulo 1. A partir de la relación

$$\phi(z) = c \prod_{i=1}^d (z - a_i)^{m_i}$$

la fórmula para la derivada de un producto permite concluir que

$$\begin{aligned} \phi'(z) &= c \frac{d}{dz} \prod_{1 \leq i \leq d} (z - a_i)^{m_i} \\ &= cm_1 (z - a_1)^{m_1-1} \prod_{2 \leq i \leq d} (z - a_i)^{m_i} \\ &+ cm_2 (z - a_2)^{m_2-1} \prod_{1 \leq i \neq 2, i \leq d} (z - a_i)^{m_i} \\ &+ cm_3 (z - a_3)^{m_3-1} \prod_{1 \leq i \neq 3, i \leq d} (z - a_i)^{m_i} \\ &+ \dots \\ &+ cm_d (z - a_d)^{m_d-1} \prod_{1 \leq i \neq d, i \leq d} (z - a_i)^{m_i} \end{aligned}$$

y entonces

$$\frac{\phi'(z)}{\phi(z)} = \sum_{i=1}^d \frac{m_i}{z - a_i}$$

Por lo tanto,

$$\int_c \frac{\phi'(z)}{\phi(z)} dz = \sum_{i=1}^d m_i \int_c \frac{1}{z - a_i} dz$$

y combinando esta igualdad con el Lemma 7.1, se desprende que

$$\int_c \frac{\phi'(z)}{\phi(z)} dz = \sum_{i: |a_i| < 1} m_i$$

estableciendo la parte (i), y a partir de este punto la parte (ii) se obtiene de inmediato.

Implementación del criterio

El Teorema 6.1 expresa la cantidad de raíces de un polinomio que se ubican dentro del círculo unitario mediante una integral y, por supuesto, la gran ventaja de la fórmula establecida en el Teorema 6.1 (i) es que la integral puede calcularse, al menos aproximadamente, sin conocer las raíces. Para propósitos de ilustración, a continuación se muestra la implementación de un algoritmo para evaluar el número de raíces de un polinomio que tienen módulo menor a uno. Para empezar, note que

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi i} \int_c \frac{\phi'(z)}{\phi(z)} dz &= \frac{1}{2\pi i} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\phi'(e^{i\lambda})}{\phi(e^{i\lambda})} i e^{i\lambda} d\lambda \\ &= \frac{1}{2} \int_{-1}^1 \frac{\phi'(e^{i\pi w})}{\phi(e^{i\pi w})} i e^{i\pi w} dw \end{aligned} \quad (9.1)$$

donde la segunda igualdad se obtuvo a través del cambio de variable $\lambda = \pi w$. Para calcular esta última integral se utilizó el lenguaje R. La idea del procedimiento es la siguiente:

Primero, se formuló una función que permite evaluar un polinomio de grado mayor o igual a 1 en cualquier punto deseado x . Dicha función se denominó evalpol, y acepta dos argumentos: el primero es un vector $p = (p_0, p_1, \dots, p_n)$ que corresponde a los coeficientes del polinomio

$$p_0 + p_1 z + \dots + p_n z^n$$

para el cual se desea determinar el número de raíces dentro del círculo unitario. El segundo argumento es un número x , y la función devuelve el valor $p(x)$, que se calcula de manera anidada como sigue:

$$\begin{aligned} p(x) &= x * \left(* \left(\dots \left(x * \left(x * \left(p_n * x + p_{n-1} \right) + p_{n-2} \right) + \dots \right) + p_1 \right) + p_0 \right) \end{aligned}$$

El código de la función es el siguiente:

```
evalpol<-function(p, x) {
  n<-length(p)
```

```

suma<-p[n]
for(i in ((n-1):1))
suma2<-suma*x + p[i]
suma }

```

Posteriormente, se define una función que calcula la mitad de la integral en (9.1) de manera aproximada mediante una suma de Riemman:

$$\frac{1}{2} \int_{-1}^1 \frac{\phi'(e^{i\pi w})}{\phi(e^{i\pi w})} i e^{i\pi w} dw \approx \frac{1}{2} \sum_i \frac{\phi'(e^{i\pi w})}{\phi(e^{i\pi w})} i e^{i\pi w} \Delta$$

donde dos puntos sucesivos w_{i+1} y w_i están separados por una distancia Δ , y además, $w_i = -\pi$ y $w_i = \pi - \Delta$. El código de la función aparece a continuación:

```

Criterio<-function(p, Delta= .001) {
n<-length (p)-1
derp <- p[2: (n+1)] *(1:n)
puntos <- seq(-1, 1, by= Delat)
puntos <- puntos*pi*li
puntos <- exp(puntos)
N<- length (puntos)
SUMA <- 0i
for (i in (1:N)) {
SUMA <- SUMA+
Delta*(exp(puntos[i])*evalpol(derp,
puntos[i])/evalpol(p,puntos[i]))
}
cat ("El polinomio tiene",
ceiling(trunc(Mod(SUMA/2)+.5)),
"raíces dentro del círculo unitario\n")
}

```

Note que se incluyó un valor por defecto para Δ , y que dicho valor es un milésimo.

Para ver la aplicación de esta función, a continuación se analizarán algunos polinomios:

(a) $p(z) = .4+z^3$. Este polinomio corresponde al vector de coeficientes $p = (.4, 0, 0, 1)$. Invocando a la función Criterio con este argumento, se obtiene

```
> Criterio (c (.4, 0, 0, 1))
```

El polinomio tiene tres raíces dentro del círculo unitario

(b) Ahora se altera ligeramente el polinomio anterior para obtener $p(z) = .4+.2z+z^3$, polinomio que corresponde al vector

$$p = (.4, .2, 0, 1).$$

La aplicación de la función Criterio con este argumento, da

```
> Criterio(c (.4, .2, 0, 1))
```

El polinomio tiene tres raíces dentro del círculo unitario.

La implementación del criterio de causalidad presentada arriba es simple y se formuló para propósitos de ilustración, pero muestra que es posible aplicar el Teorema 6.1 de manera práctica para determinar la causalidad de un polinomio sin conocer sus raíces.

LITERATURA CITADA

- AHLFORS, L. 1980. Complex Analysis. McGraw-Hill, New York.
- APOSTOL, T. M. 1980. Mathematical Analysis. Addison Wesley, Reading, Massachusetts.
- BOROVKOV, A. A. 1999. Mathematical Statistics. Gordon and Breach, New York.
- BROCKWELL, P. J. and R. A. Davis. 1998. Time Series: Theory and Methods. Springer-Verlag, New York.
- DUDEWICA, E. and S. Mishra. 1998. Mathematical Statistics. Wiley, New York.
- FULLER, W. A. 1988. Introduction to Statistical Time Series. Wiley, New York.
- FULKS, W. 1980. Cálculo Avanzado. Limusa, México.
- GRAYBILL, F. A. 2000. Theory and Application of the Linear Model. Duxbury, New York.
- GRAYBILL, F. A. 2001. Matrices with Applications in Statistics. Duxbury, New York.
- RUDIN, W. 1984. Real and Complex Analysis. McGraw-Hill, New York.
- ROYDEN, H. L. 2003. Real Analysis. MacMillan, London.
- SHAO, J. 2010. Mathematical Statistics. Springer, New York.
- SHUMWAY, R. H. and D. S. Stoffer. 2006. Time Series Analysis and Its Applications with R Examples. Springer-Verlag, New York.
- WACKERLY, D., W. Mendenhall and R. L. Scheaffer. 2009. Mathematical Statistics with Applications. Prentice-Hall, New York.

Normas editoriales para publicar en *Agraria*

INTRODUCCIÓN

Agraria es una revista científica cuatrimestral, publicada por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coah., México. Fue creada con el propósito de difundir los resultados de investigaciones científicas originales e inéditas sobre temas relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias y forestales, incluyendo las áreas de ingeniería, agroindustria y socioeconómicas.

La revista *Agraria* está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA (de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México D. F.); y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS).

Los materiales que se envíen para su publicación deberán ceñirse a las normas que, para tal efecto establezca *Agraria* y estarán sujetos a revisión y arbitraje por el Comité Editorial de la revista —o por quienes éste designe—, como requisito previo a su publicación.

TIPO DE MATERIALES PARA PUBLICACIÓN

La revista *Agraria* acepta, para su publicación, materiales en español e inglés, sobre temas relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias y forestales, incluyendo las áreas de ingeniería, agroindustria y socioeconómicas. Todo material deberá venir acompañado de la solicitud correspondiente (ver modelo).

Estos materiales pueden ser artículos científicos, notas de investigación o ensayos.

- Artículo científico
- Ensayo científico
- Nota de investigación

No se aceptan trabajos ya publicados, o que estén sometidos a consideración en otros medios científicos de difusión.

Es de desear que la realización de la investigación, cuyos materiales sean enviados para su publicación,

no exceda de cuatro años anteriores a la fecha de su remisión.

ESTRUCTURA Y DEFINICIONES

Artículo científico

Es el resultado de un trabajo de investigación en el cual se aplicó, de forma rigurosa, el método científico, estudiando el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida en el trabajo. El material no deberá exceder de 20 cuartillas, incluidos cuadros y figuras.

Los artículos científicos que se envíen deberán constar de las siguientes partes:

1. Título
2. Título en inglés
3. Autor(es)
4. Institución(es) de adscripción y datos de localización del autor responsable (domicilio, teléfono, fax, e-mail)
5. Abstract, que es la traducción al inglés del resumen, incluidas las palabras clave
6. Resumen, que incluirá al pie las palabras clave hasta un máximo de 6
7. Introducción
8. Materiales y métodos
9. Resultados y discusión
10. Conclusiones
11. Literatura citada
12. Agradecimientos

Ensayo científico

Consiste en el análisis crítico de una recopilación actualizada de artículos científicos, informes de investigación, o materiales similares, en los que el autor aporta su opinión personal sobre un tema, estableciendo conclusiones respecto al estado actual del conocimiento sobre el mismo. En *Agraria* no se publicarán revisiones bibliográficas, ni ensayos que no

aporten conocimiento o interpretaciones originales. El material no deberá exceder de 20 cuartillas, incluidos cuadros y figuras.

Partes de que consta el ensayo:

1. Título
2. Título en inglés
3. Autor(es)
4. Institución(es) de adscripción y datos de localización del autor responsable (domicilio, teléfono, fax, e-mail)
5. Abstract; es la versión al inglés del Resumen, incluye las Key words
6. Resumen, incluidas las palabras clave
7. Introducción
8. Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes
9. Discusión, cuando proceda
10. Conclusiones
11. Literatura citada

Nota de investigación

Son materiales basados en trabajos experimentales que, sin perjuicio del método y rigor científicos, presentan aspectos metodológicos innovadores o resultados que, por su carácter novedoso, el autor considera de interés publicar antes de finalizar su investigación.

En general, una Nota de Investigación contendrá los mismos capítulos que los de un Artículo, pero su extensión máxima será de 10 cuartillas.

FORMATO

El siguiente formato es aplicable a los tres tipos de contribuciones que publica *Agraria*: artículos, notas y ensayos.

Título. Se escribirá al inicio, debajo se colocará su traducción al inglés.

Autores. Los autores incluirán sus nombres completos (sin iniciales de nombres ni de apellidos), pero de común acuerdo con ellos se definirá si aparecerán abreviados en la versión publicada. Los nombres de los autores se separarán por comas y no habrá punto al final del nombre completo del último autor. Su ubicación será centrada, inmediatamente abajo del título, sin grados académicos ni cargos laborales, con mayúsculas sólo en las letras iniciales. Al final de cada nombre se colocará índices numéricos pro-

gresivos y al pie de la primera página se indicará, para cada índice, el nombre de la institución y el domicilio oficial, incluyendo código postal, número de fax y correo electrónico. Si todos los autores trabajan en la misma institución y dependencia, un solo índice (en cada nombre) será suficiente. En cualquier caso deberá identificarse al autor responsable de la publicación, o al que preferentemente se deberá enviar la correspondencia.

Resumen. Sintetiza, en un máximo de 300 palabras, los aspectos más relevantes del trabajo; su justificación, importancia, el método experimental (si procede) y las conclusiones más relevantes.

Palabras clave. No deben incluirse los mismos términos contenidos en el título. Se escriben en renglón aparte, después del Resumen.

Ejemplo: **Palabras clave:** *Lycopersicon sculentum*, regulación del crecimiento, parasitismo, azúcar.

Abstract y Key words. La misma norma que para el resumen.

Introducción. Expresa la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícitos las hipótesis del mismo, además de los aspectos más relevantes del tema tratados por otros autores, e identificados en la literatura citada. La introducción no excederá de 80 líneas, ni contendrá ilustraciones.

Materiales y métodos. Describe las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los procedimientos experimentales empleados, dando particular importancia a la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados, en plena concordancia con la(s) hipótesis.

Resultados y discusión. Incluye los resultados de la investigación, presentados en forma de texto, cuadros, y figuras, sin duplicar en unos la información presentada en los otros. Los resultados incluirán datos que puedan ser fácilmente calculados por el lector. En la discusión se resaltarán los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivadas del análisis de los resultados.

Además se deberá explicar, en función de las observaciones hechas, las causas posibles de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores y se señalarán coincidencias y las divergencias

Conclusiones. Primero se presentarán las conclusiones correspondientes a los objetivos planteados. En seguida se pueden incluir otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo realizado.

Literatura citada. Solamente se citarán aquellos materiales que sean relevantes para el artículo enviado, evitando la excesiva redundancia en las citas. Para la forma de citar correctamente las diversas fuentes de literatura ver el apartado **Citas en el texto**.

Agradecimientos. De haberlos podrán incluirse después de las conclusiones y antes de la literatura citada.

Formato de los encabezados

Encabezado de primer orden

Es el título del artículo, nota, o ensayo y se escribe sin ningún signo de puntuación al final del mismo.

Encabezados de segundo orden

Son las partes principales del material: Resumen, Abstract, Introducción, Materiales y métodos, etc., y no llevan ningún signo de puntuación al final; el texto correspondiente se escribe en punto y aparte.

Encabezados de tercer orden

Son subordinados de los anteriores, no llevan signo alguno de puntuación al final; y su texto se escribe a punto y aparte

Encabezados de cuarto orden

Subordinados de los anteriores, el texto que les corresponde se escribe después de punto y seguido. Para ejemplificar lo anterior se pueden ver los formatos.

TEXTOS

Los textos, con todos sus anexos, deben enviarse empaquetados (nosotros preferimos WinZip), sin contraseñas de seguridad, por correo electrónico, escritos en un procesador de textos de uso común (preferimos Word), en formato tamaño carta (21.57 x 27.94 cm), sin sangría, y a doble espacio, con márgenes de 2.5 cm por lado. Agradeceremos evitar nombres de archivo excesivamente largos o con espacios en blanco.

Los textos se redactarán en un tipo formal conocido ttf (True Type Font) tales como Arial, Times New Roman o similares, de 12 puntos. Las notas se escribirán en 9 puntos.

Todos los renglones, incluidos los encabezados, se iniciarán, invariablemente, a partir del margen izquierdo, sin sangría.

Todos los encabezados, independientemente de su orden, se escribirán en altas y bajas, y negrillas.

Los párrafos se escribirán sin pasar renglón entre ellos; para separarlos, a fin de hacer el texto fácil de leer y corregir, se utilizará el formato automático de párrafo del procesador, para darles un espaciado posterior de 6 puntos.

Las unidades que se empleen serán las del Sistema Internacional de Unidades (<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/unidades/unidades.htm>)

Las páginas, al igual que los cuadros y las figuras, se numerarán progresivamente con números arábigos.

CUADROS Y FIGURAS

Los cuadros y las figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetirán los datos que se presenten en el texto, o en otra forma. Cuadros y figuras deben ser claros, simples, concisos e ilustrativos.

Los cuadros no excederán, en ningún caso, los márgenes de impresión arriba mencionados y deberán presentarse en el cuerpo del texto, con el formato correspondiente, con las columnas separadas por tabulaciones, sin espacios a mano, y en la posición en que se espera que aparezcan, con el número de orden correspondiente.

En los cuadros (ver ejemplo) se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desee.

Los cuadros se realizarán en formato básico con tres líneas horizontales continuas: al inicio del cuadro, al inicio del cuerpo del cuadro (no en el encabezamiento) y al final. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor. No se deben añadir líneas verticales. Los encabezamientos, de columnas y líneas, se escribirán con minúsculas, excepto la primera letra de la oración. Las unidades se colocan debajo de la segunda línea horizontal, como en el ejemplo que se proporciona.

Las figuras tampoco excederán, en ningún caso, los márgenes de impresión establecidos. La posición

Cuadro 1. Ganancia de peso por becerros, hetárea y carga animal en zacate buffel, pastoreado a tres asignaciones de forraje.

Variables	Asignación	CV	11
	(%) 5	(%) 8	
Ganancia de peso por animal (g d ⁻¹)	178.4 a	169.9 a	177.6 a 31.2
Carga animal † (borregos ha ⁻¹ 84 d ⁻¹)	151.7 a	127.8 b	125.9 b 5.3
Ganancia de peso ha ⁻¹ (kg 84 d ⁻¹)	542.4 a	363.4 b	327.0 b 5.3

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, p<0.05.).

† Se calculó incluyendo el efecto de asignación de forraje, en la pradera y en el animal, con borregos criollos en crecimiento.

que deba ocupar cada figura, deberá estar indicada en el texto con negrillas, en renglón aparte, con el número correspondiente. Cada figura se enviará en archivo por separado, en formato tif (compresión LZW), o jpg, con el tamaño exacto en que se pretende que aparezca en la publicación, en una resolución no inferior a 150 pixeles por pulgada, con el número que le corresponda (p. ej: fig01.jpg).

Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente. Para dividir los ejes se deben escoger intervalos constantes para cada uno ver ejemplo. Los mosaicos fotográficos deben entregarse montados en un solo archivo gráfico (tif, o jpg), totalmente terminados. El aumento de las microfotografías debe indicarse en la leyenda.

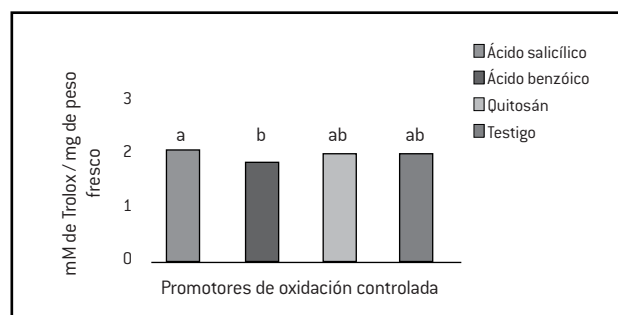


Figura 1. Efecto de promotores de oxidación controlada sobre la capacidad antioxidante equivalente a Trolox (CAET) en extractos de acerla cv. Fordhock. Letras iguales significan igualdad de acuerdo a la prueba de Tukey a una p<0.05.

En archivo por separado se enviará un listado de las figuras incluidas en el material enviado, con el número de orden y el pie de grabado correspondientes (p. ej.: listafigs.doc) Las figuras pueden ser fotos a co-

lor o en tonos de gris –según sea su original–, gráficas (de preferencia a color), ilustraciones, dibujos, o grabados (de preferencia a color).

Los cuadros deberán redactarse en el mismo procesador de textos y formato señalado arriba.

Las ecuaciones, si las hubiere, se insertarán en el texto con un Editor de ecuaciones compatible con su procesador.

NOTAS A PIE DE PÁGINA

Sólo se podrán utilizar, cuando sean absolutamente indispensables, para identificar información adicional y se numerarán progresivamente en el texto. Los asteriscos se reservarán para indicar significación a 5% (*) y 1 % (**), respectivamente. En el pie de grabado o de cuadro se incluirán las notas o llamadas que sean pertinentes, y serán señaladas con números arábigos.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

Las citas bibliográficas en las que se apoyen los materiales deberán de ser literatura reciente, relevante y sólo las exclusivamente necesarias para sustentar los planteamientos hechos.

Las citas en el texto se harán de acuerdo con los siguientes lineamientos:

1. Se anotará el apellido principal de los autores y el año, cuando se trate de uno o dos autores, y el apellido principal del primer autor seguido de la expresión *et al* y el año cuando se trate de tres o más autores;

2. Las citas, cuando sean más de una, se colocarán en orden cronológico atendiendo a lo siguiente:

- Cuando el nombre del o los autores va en el contexto se colocará el apellido principal seguido del año entre paréntesis, ejemplo: González-Preciado (2002) observó que.., Robledo-Torres (1998) y Hernández-Dávila (2000) encontraron gran diferencia.
- Cuando la cita se agrega al final de la oración los nombres de los autores, y el año, se colocarán entre paréntesis, separados por una coma, ejemplo: al final de la colecta de frutos (Robledo-Torres, 1998) o (Robledo-Torres, 1998; Hernández-Dávila, 2000) o (Mosqueira *et al.*, 1976).
- Cuando se citan más de una publicación del mismo autor, de un mismo año se añade a estos, para

distinguirlos, las letras a, b, c, etc., ejemplo: (Turrati-Méndez, 1988a), (Turrati-Méndez, 1988b).

- Las comunicaciones personales deberán ser recientes y se citarán sólo en el texto, ejemplo: (Dr. E. Juvenal- Enriquez., técnico asesor independiente, 2003, comunicación personal).

Para construir la lista de citas bibliográficas, en el apartado de **Literatura citada** se seguirán las normas que se ilustran, con ejemplos, a continuación.

Artículos en revistas seriadas, ejemplo:

1. López-Tejeda, R., V. Camacho-Rodríguez y M.A. Gutiérrez-Coronado, 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. *Terra* 16:43-48.

2. Artículos en una publicación colectiva, no periódica, con o sin editor:

Ejemplo A, con editor

Turrent F., A. 1984. Los agrosistemas del trópico. pp. 315-328. In: E. Hernández X. (Ed.). Los sistemas agrícolas de México, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Ejemplo B, sin editor

Cortés F., J. 1. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías. pp. 181-192. In: La fruta y su perspectiva en México. CONAFRUT. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.

Boletines técnicos u otras publicaciones seriadas no periódicas:

Clement, H.F. 1952. Factors affecting the growth of sugarcane. Univ. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 18.

Libros:

Douglas, J.S. 1976. Advanced guide to hydroponics. Drake Publishers. New York, USA.

Zamudio H., B. 1970. Las especies latifoliadas del Cono Sur. 2a. edición. Editorial Inca. Lima, Perú.

Referencias bibliográficas tomadas de internet, se redactarán de acuerdo a lo enunciado previamente, además de incluir la dirección electrónica (URL) y fecha en que se obtuvo la referencia, por ejemplo:

Verdugo, V., A. Rojas, A. De León, B. Zambano, E. León, B. Rios, A. Benavides. 1999. Estimación del índice estomático y la frecuencia estomática en cuatro variedades de ajo (*Allium sativum* L.). <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Runway/8787/estomajo.htm> (28 mayo 2002)

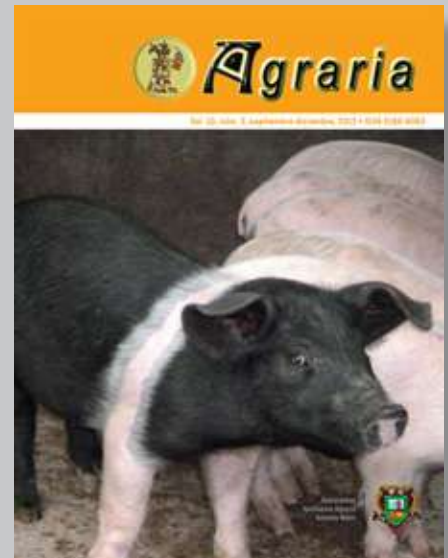
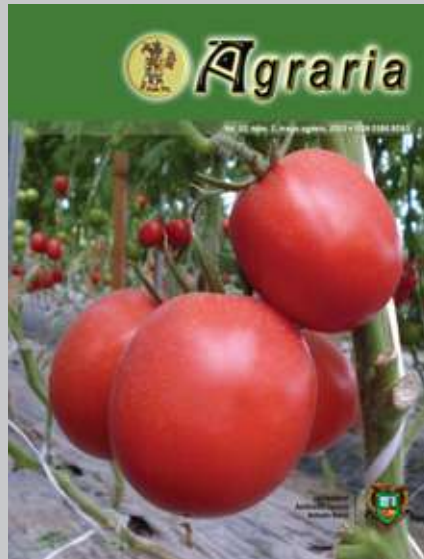
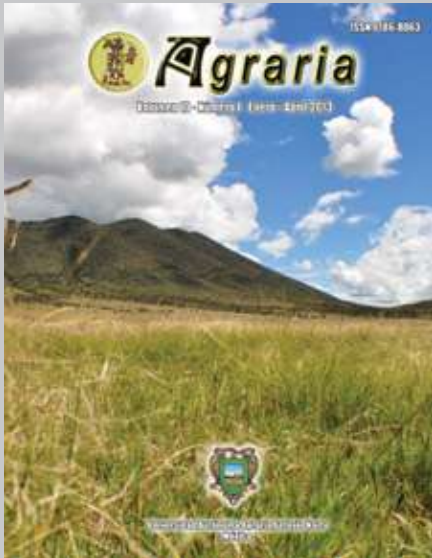
Referencias a tesis pueden incluirse como notas de pie de página, aunque debieran evitarse, así como las referencias a trabajos publicados en resúmenes de congresos u otros eventos científicos.

La lista de citas se confeccionará en orden alfabético, y sólo se incluirán en ella los materiales citados en el texto.

En caso de dudas respecto a la forma de citar alguna referencia se puede tomar como ejemplo lo dispuesto al respecto en el manual del editor de ASA-CSSA-SSA <http://www.asa-cssa-ssa.org/edithandbook/>.

En lo referente a citas de recursos electrónicos se puede complementar el Manual anteriormente mencionado con las normas de Columbia Guide to Online Style http://www.columbia.edu/cu/cup/cgos/idx_basic.html

Publicaciones en 2013



Agraria está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA (de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México D. F.); y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS).

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315,
Saltillo, Coah., México

E-mail: agraria_ne@uaaan.mx

Tel. +52 (844) 411 02 12 y 411 02 80, ext. 2003. Fax +52 (844) 411 02 11





- 89** Análisis de los atributos químicos de poblaciones de maíz criollo
Analysis of Chemical Attributes in Maize Landrace Populations
Ezequiel Oviedo-Campos, Norma Angélica Ruiz-Torres, Juan José López-González, Hilda Cecilia Burciaga-Dávila
- 97** Modificaciones inducidas por la instalación de sistemas abiertos sobre potencial hídrico del tallo y conductancia de hoja en vid y durazno
Induced Modifications by the Installation of Open Systems on Stem Water Potential and Leaf Conductance in Grapevine and Peach
Víctor Manuel Reyes-Salas, Fabiola Aureoles-Rodríguez, Juan José Galván-Luna, Joan Girona i Gomís, Jordi Marsal-Vila
- 109** Resistencia helmíntica de ovinos Katahdín y Pelibuey en Villacorzo, Chiapas, México
Helminths Resistance of Sheep Katahdín y Pelibuey in Villacorzo, Chiapas, Mexico
Fernando Ruiz-Zárate, Fabio Cruz-Velázquez, Armando Jacinto Aguilar-Caballero, Raquel Olivas-Salazar, Ramiro López-Trujillo, Glafiro Torres-Hernández, Alfredo Cuéllar-Ordaz
- 115** Evaluación productiva de cerdas vientre suplementadas con zinc en el último tercio de gestación
Productive Evaluation of Sows Supplemented with Zinc the Last Third of Gestation
Ramón Florencio García-Castillo, Mayra Gabriela Jaime-Torres, Antonio Valdez-Oyervides, Jaime Salinas-Chavira, Juan David Hernández-Bustamante, Jorge Ramsy Kawas-Garza
- 119** Un criterio integral de causalidad para procesos autorregresivos y de promedios móviles
An Integral Causality Criterion for Autoregressive and Moving average Processes
Julio César Chacón Hernández

Agraria es una publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, creada para difundir resultados de investigación nacionales e internacionales, originales e inéditos, escritos en español e inglés, sobre temas relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias y forestales, incluyendo las áreas de ingeniería, agro industria, biotecnología y socioeconómicas. Estos materiales pueden ser artículos científicos, notas de investigación o ensayos científico. Los materiales que se envíen para su publicación deberán ceñirse a las normas editoriales y estarán sujetos a estricta revisión por pares, como requisito previo a su publicación.

