

ÍNDICE HÍDRICO DE DOS CULTIVARES DE MAÍZ BAJO DOS SISTEMAS DE SIEMBRA¹

*Jorge Iván Núñez-Cano²; Román Gordón-Mendoza³; Jorge Franco-Barrera⁴;
Jorge Jaén-Villarreal⁵; Ana Sáez-Cigarruista⁶; Francisco Ramos-Manzané⁷;
Aurisbel Ávila-Guevara⁸*

RESUMEN

Este ensayo se realizó en El Ejido, Los Santos, con el objetivo de determinar el índice hídrico de dos cultivares de maíz (híbrido y variedad) mediante la utilización de la temperatura de la planta, bajo dos sistemas de siembra (riego y seco). Se realizaron muestreos cada 10 días en los que se determinó la temperatura del follaje del cultivo y del suelo con la utilización de un termómetro infrarrojo digital. La humedad del suelo se determinó por gravimetría, tensiómetro y bulbos medidores de humedad. El contenido de clorofila, con un clorofilómetro. El índice hídrico, por diferencia entre la temperatura del cultivo y la del aire. Índice hídrico y biomasa del híbrido en seco estaban correlacionados ($R^2 = 0,79$). A menos índice, mayor porcentaje de biomasa. También había correlación entre índice hídrico y contenido de clorofila ($R^2 = 0,53$), en la misma etapa. Se observó tendencia a incrementarse el índice hídrico. La variedad se comportó similarmente; el índice hídrico se correlacionó con el porcentaje de biomasa y el contenido de clorofila con R^2 de 0,53 y 0,70, respectivamente. El rendimiento del híbrido y la variedad, sembrados bajo riego en agosto, fue superior al obtenido en seco. En las siembras de octubre, el rendimiento de ambos cultivares fue muy similar en riego y seco.

Palabras claves: riego, seco, temperatura del follaje y suelo, contenido de clorofila, biomasa.

¹ Recepción: 7 de septiembre de 2018. Aceptación: 9 de noviembre de 2018. Trabajo financiado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Programa: Investigación e Innovación para la Competitividad del Agro Negocio.

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). Ing. Agr. Fitotecnia. e-mail: jorgenunezcano@gmail.com.

³ IDIAP. CIAA. M.Sc. Entomología. e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁴ IDIAP. CIAA. M.Sc. Ciencias Ambientales. e-mail: joenfra13@gmail.com

⁵ IDIAP. CIAA. Ing. Agr. en Cultivos Tropicales. e-mail: jorgejaen02@gmail.com

⁶ IDIAP. CIAA. Ing. Agr. en Cultivos Tropicales. e-mail: ansacig@gmail.com

⁷ IDIAP. CIAA. Ing. Agr. e-mail: franciscoramos2016@gmail.com

⁸ IDIAP. CIAA. Ing. en Ambiente y Desarrollo. e-mail: aurisbel.a@hotmail.com



WATER INDEX OF TWO MAIZE CULTIVARS UNDER TWO SEED SYSTEMS

ABSTRACT

This trial was realized at El Ejido, Los Santos, with the objective of determining the water index of two maize cultivars (hybrid and variety) through the plants temperature, under two planting systems (irrigation and rainfed). Samples were taken every 10 days with a digital infrared thermometer to determine foliage and soil temperatures. Soil humidity was determined by gravimetry method, tensiometer and humidity measuring bulbs. Chlorophyll content was measured with a chlorophyll meter. Water index, as the difference between crop and air temperatures. Water index and hybrid biomass under rainfed conditions were correlated ($R^2 = 0,79$). The less the index, the largest the biomass percentage. At the same stage, water index and chlorophyll content were also correlated ($R^2 = 0,53$). There was observed a tendency to an increase in soil temperature as water index increasing. Maize variety similarly; water index was correlated to biomass percentage and chlorophyll content, with R^2 of 0,53 and 0,70 respectively. Yields of hybrid and variety, planted in August under irrigation, were superior to those obtained under rainfed conditions. For October plantings, yields of both cultivars were very similar under irrigation and rainfed conditions.

Key words: irrigation, rainfed, foliage and soil temperature, chlorophyll content, biomass.

INTRODUCCIÓN

En condiciones de campo el maíz está sometido a la interacción temporal y espacial de muchos factores, incluidos entre ellos las elevaciones de temperatura y las restricciones hídricas. De los estudios de ambos factores en forma aislada, es posible vislumbrar algunos de los posibles efectos que podría originar la incidencia conjunta de estos estreses sobre el crecimiento del cultivo de maíz. Las altas temperaturas usualmente causan cierre estomático y al aumento en la concentración interna de CO_2 por elevación de la respiración (Marshall 1979). Por otro lado, la temperatura es el elemento primario que influye sobre el desarrollo del maíz. Los cultivares se clasifican como de madurez temprana o tardía en base a sus requerimientos térmicos para cumplir ciertas etapas del desarrollo. El tiempo térmico es una medida de la temperatura acumulada por encima de un mínimo y por debajo de un máximo adecuados para el desarrollo. Las unidades de tiempo térmico son los grados-días. La floración es generalmente usada como el evento del desarrollo que caracteriza los cultivares como tempranos o tardíos (Yzarraga *et al.* 2010).

La utilización de la temperatura de los cultivos para detectar el estrés hídrico de las plantas se basa en la asunción de que la transpiración evapora agua y enfría las hojas por debajo de la temperatura del aire que las rodea. Cuando la disponibilidad hídrica es limitada, la transpiración se reduce y la temperatura foliar aumenta. Si la cantidad de agua transpirada es pequeña, es normal que las hojas se calienten por encima de la temperatura del aire, lo que se justifica por la absorción de la radiación (Burgos *et al.* 1998). Estudios realizados por Pinter y Reginato (1982) en Arizona demostraron que el algodón sin estrés hídrico mantenía una temperatura del follaje en 5 °C y 10 °C por debajo de la temperatura del aire.

La estimación del contenido de agua en la vegetación se puede llevar a cabo por tres métodos distintos: muestreo de campo, información meteorológica y percepción remota. El método de campo es quizás el más preciso y directo, pero tiene el inconveniente de ser costoso, lento y destructivo. El modelado de escenarios de cambio climático para Panamá reveló modificaciones en el Arco Seco. En relación con los patrones de temperatura y precipitación. Estas incluyen un ambiente más cálido, de 2 °C a 3 °C sobre las temperaturas actuales, en tanto que la variación en los patrones de lluvia podría estar en el rango de más o menos 10% (ANAM 2011). Buscar alternativas que contribuyan a enfrentar estos cambios en la agricultura es uno de los principales retos. La determinación del índice de estrés hídrico en el cultivo utilizando la temperatura del follaje permite reducir tiempo y esfuerzos que se realizan con los sistemas actuales de detección. La información generada en conjunto con otras variables de suelos tales como el punto de marchites permanente, capacidad de campo, velocidad de infiltración entre otras podría ser utilizada para crear un sistema de percepción remota de estrés hídrico del cultivo.

El objetivo de este trabajo fue la determinación del índice hídrico de dos cultivares de maíz mediante la utilización de la temperatura de la planta bajo dos sistemas de siembra y su efecto en el desarrollo de la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en la Estación Experimental de El Ejido ubicada en la provincia de Los Santos a 7° 58' latitud norte y 80° 22' longitud oeste. En un suelo alfisol de mediana fertilidad, pH ácido y textura franco arcillosa. La siembra se realizó en los meses de agosto y octubre utilizando como material genético la variedad IDIAP-IMV-1102

y el híbrido simple 30F-35. El ensayo constó de un total de 360 m², en donde cada unidad experimental fue de 90 m², constituida por 12 hileras de 10 m de largo y separadas a 0,75 m entre ellas y 0,20 m entre plantas. Cada unidad experimental se estableció en condiciones de riego por goteo y secano en dos fechas de siembra.

La fertilización base se realizó a razón de 200 kg de N ha⁻¹, utilizando como fuente la urea (46% N) con el siguiente fraccionamiento: 10% a la siembra, 40% a los 21 días después de la siembra (dds) y 50% a los 35 dds. También se le aplicó 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 20 kg K₂O ha⁻¹ al momento de la siembra. El control de malezas se realizó con aplicaciones pre-emergentes de herbicidas, complementado con controles posteriores de tipo manual (Gordón 2007). Al momento de la siembra se realizó el primer muestreo en el cual se determinó la temperatura y la humedad del suelo. Posteriormente, se realizaron muestreos cada 10 días, hasta alcanzar la madurez fisiológica del cultivo.

Variables climáticas: Se utilizaron los registros de la temperatura ambiental del sitio experimental (T_a) registrando la temperatura máxima, mínima y promedio en °C, Humedad Relativa en porcentaje (máxima, mínima y promedio). Estos registros fueron suministrados por el proyecto de Red Agroclimática de IDIAP.

Temperatura del cultivo y del suelo: La temperatura del cultivo (T_c) se determinó con la utilización de un termómetro infrarrojo digital. La lectura se tomó a las dos de la tarde en los días de muestreo, hora en la cual las plantas sufren un mayor estrés hídrico. Se evitó la sombra con el cuerpo del operador o de parcelas vecinas. Se tomaron tres lecturas (norte, sur y oeste) a una distancia de 0,50 m de cada unidad experimental (Pask *et al.* 2013). La temperatura del suelo (T_s) se tomó apuntando directamente sobre el suelo en cada una de las muestras del T_c.

Índice hídrico por temperatura (T_c – T_a): El índice hídrico se obtuvo como resultado de la diferencia entre la temperatura del cultivo y la temperatura del aire. Un índice hídrico con valores positivos indica que la planta está sometida a un estrés hídrico, si es negativo la planta no presenta estrés hídrico (Burgos *et al.* 1998).

Contenido de humedad del follaje (CHc): Se tomaron dos plantas por muestreo a las cuales se les determinó el peso húmedo de la misma (P_h), luego se llevaron al horno por

48 horas a 60 °C y se determinó el peso seco (P_s). Luego se calculó el contenido de humedad en la planta (CH) expresado en porcentaje.

$$CH = ((P_h - P_s) / P_s) * 100.$$

Contenido de humedad del suelo (CHs): Se determinó por el método gravimétrico (CIMMYT 2013).

Contenido de clorofila: Se determinó con la ayuda de un clorofilómetro SPAD-502 de Minolta®. En cada muestreo se determinó el contenido de clorofila a 10 plantas y se estimó el promedio de las mismas para su análisis.

Análisis estadístico: Se realizaron análisis de correlación de Pearson entre el índice hídrico, contenido de humedad en la planta, humedad en el suelo, clorofila y porcentaje de biomasa. De igual forma se realizaron análisis de regresión lineal simple de acuerdo al siguiente modelo:

$$y = a + bx$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo de regresión lineal utilizado explicó el 91% y 93% de la variabilidad existente en la humedad de la planta en función del índice hídrico para el híbrido en secano y con riego, respectivamente. En ambos sistemas se observó una correlación negativa entre el índice hídrico y el porcentaje de humedad de la planta. En el sistema en secano el índice hídrico presentó valores positivos durante el 50% del ciclo del cultivo (5 de 10 valores medidos durante el desarrollo del cultivo). Estos índices positivos coincidieron con los valores bajos en el porcentaje de humedad de la planta. Por su parte, en el sistema con riego los valores positivos del índice hídrico se presentaron en el 20% del tiempo, es decir, dos valores de diez mediciones durante el ciclo del cultivo (Figura 1).

En el sistema bajo secano la pendiente de la curva fue tres veces más baja a la pendiente de la curva en el sistema bajo riego, siendo ésta más horizontal. Para un valor determinado de porcentaje de humedad de la planta, la misma presenta un índice alto, indicando que la temperatura de la planta es mayor que la temperatura ambiental. Esto sugiere un mayor estrés hídrico de la planta bajo el sistema de siembra en secano en comparación a las plantas bajo riego.

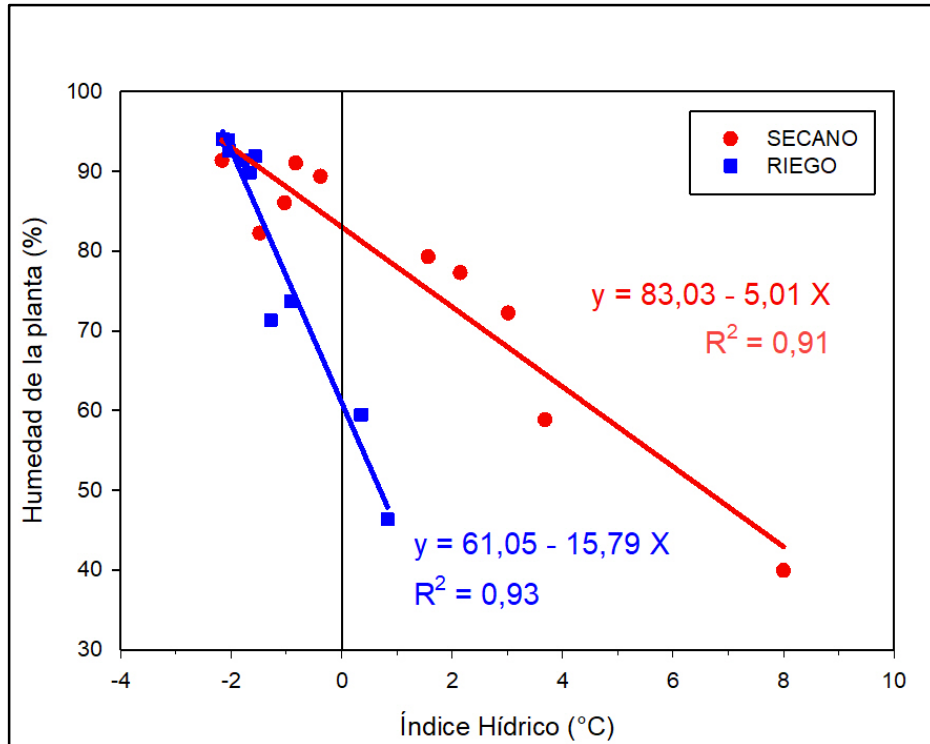


Figura 1. Relación entre el índice hídrico y el porcentaje de humedad de la planta en el híbrido según sistema de riego y en secano.

El porcentaje de humedad en la planta aumentó en la variedad, conforme disminuyó el índice hídrico (Figura 2). Los valores altos en el contenido de humedad de la planta se presentaron a valores bajos del índice hídrico. Estos valores bajos en el índice hídrico indican que la temperatura de planta estuvo por debajo de la temperatura ambiente. La pendiente de la curva para la siembra bajo el sistema en secano es menor que la siembra bajo sistema de riego. La evaporación del agua en la superficie de la hoja al producirse la transpiración disminuye su temperatura y así tolera mejor el calor. Una planta bien hidratada presenta una alta tasa de evapotranspiración. Debido a que el grado de hidratación de la hoja, determina la turgencia de las células alrededor de los estomas (células oclusivas y células epidérmicas adyacentes). Con ello la mayor o menor apertura de los estomas (Carrasco 2007).

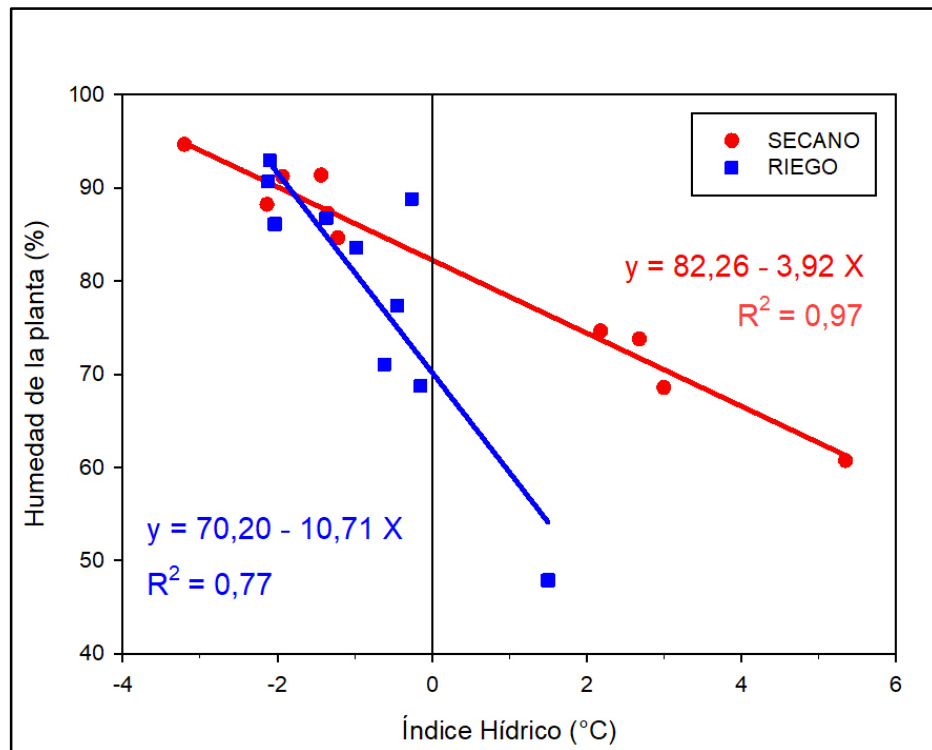


Figura 2. Relación entre el índice hídrico y el porcentaje de humedad de la planta en la variedad según sistema de riego y en seco.

La humedad del suelo presentó una relación negativa con el índice hídrico en los dos cultivares en la siembra bajo el sistema en seco (Figura 3). La transpiración es la responsable de generar un aumento en el gradiente de potencial hídrico en la planta. El híbrido presentó valores altos del índice hídrico que la variedad. Esto indica que la variedad es más tolerante al estrés hídrico en comparación con el híbrido, ya que logró mantener la temperatura de sus hojas a valores más próximos a la temperatura del ambiente.

El agua se evapora en las hojas a través de los estomas, en mayor o menor medida en función, principalmente, del potencial hídrico del suelo. La velocidad con la que el agua pasa del suelo a las raíces depende del tipo de suelo y de su contenido hídrico. Un suelo arcilloso está formado por partículas más finas que un suelo arenoso. Por tanto, con la misma cantidad de agua, el potencial hídrico del suelo arcilloso es menor que el arenoso (Azcón y Talón 2008).

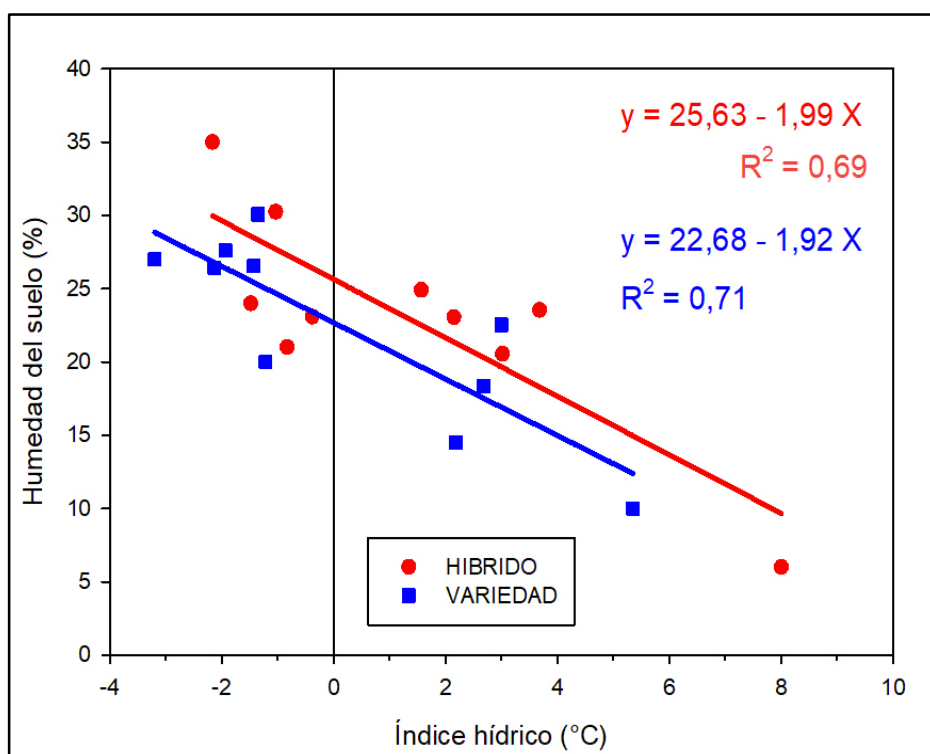


Figura 3. Relación entre el índice hídrico y el porcentaje de humedad del suelo en el híbrido y la variedad en seco.

El contenido de clorofila en la planta se afectó por el índice hídrico. Valores bajos en el índice hídrico se reflejaron en tasas más altas en el contenido de clorofila en la planta. Esta relación negativa puede ser explicada por el mecanismo de cierre de estomas que presentan las plantas. En condiciones de déficit hídrico, temperaturas elevadas y/o luz intensa, los estomas pueden cerrarse en las horas centrales del día para evitar la pérdida excesiva de agua. Si el estrés hídrico es aún más fuerte, solamente se abrirán a primera hora de la mañana. Aumentando la transpiración y disminuyendo, por tanto, la eficiencia transpiratoria (Figura 4). La disminución en la tasa transpiratoria limitará el proceso de fotosíntesis por disminuir la incorporación de CO_2 a la planta (Taiz y Zeiger 2002). Resultando perjudicial para la funcionalidad del aparato fotosintético. Estas respuestas fisiológicas podrían ser la base del mayor impacto del estrés térmico en maíz cuando ocurre conjuntamente con deficiencias hídricas (Cakir 2004). El híbrido y la variedad presentaron comportamientos similares, con valores de R^2 de 0,60 y 0,67 respectivamente. Sin embargo, en el híbrido se observa una mejor eficiencia fotosintética que la variedad.

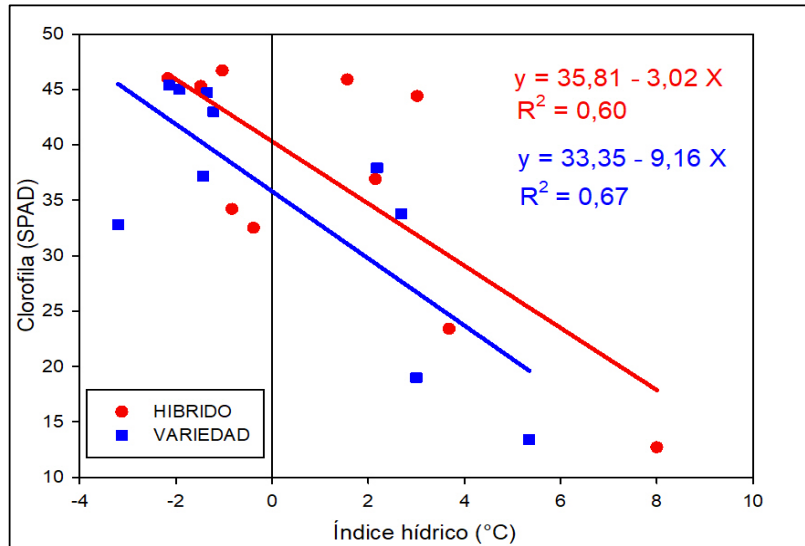


Figura 4. Relación entre el índice hídrico y el contenido de clorofila en el híbrido y la variedad en seco.

A medida que la planta estuvo sometida a un mayor estrés hídrico, mayor fue el porcentaje de biomasa en cada muestreo. El menor contenido de agua en el follaje cuando la planta estuvo estresada pudo haber causado esta relación positiva entre el índice hídrico y el porcentaje de biomasa. El análisis de regresión muestra un coeficiente de determinación mayor para la variedad ($R^2=0,76$) (Figura 5).

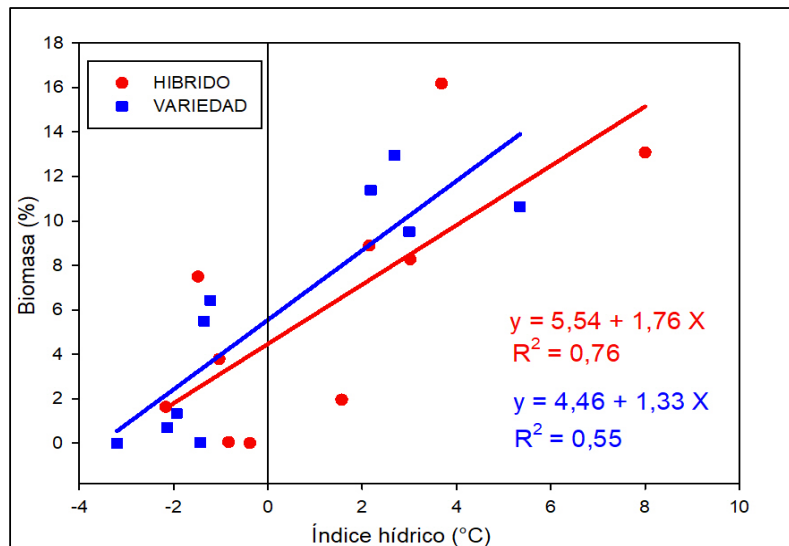


Figura 5. Relación entre el índice hídrico y el porcentaje de biomasa en el híbrido y la variedad en seco.

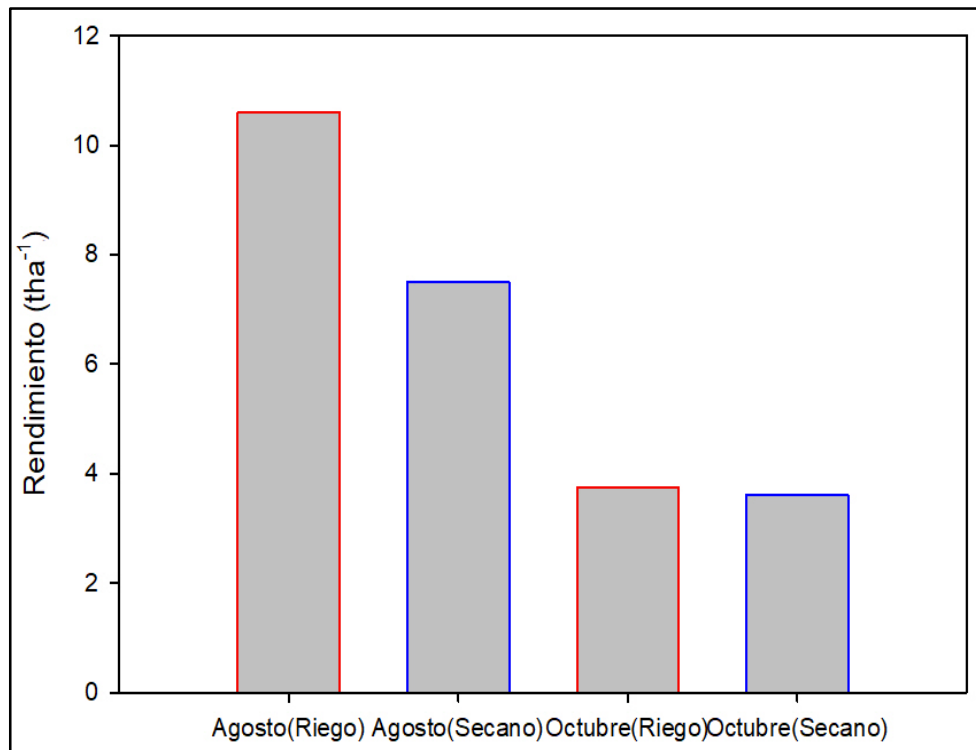


Figura 6. Rendimiento del híbrido por fecha y sistema.

En las siembras de agosto, el estrés hídrico pudo haber afectado el rendimiento de los cultivares. El híbrido con riego obtuvo un rendimiento de $10,6 \text{ t.ha}^{-1}$, mientras que en seco obtuvo $7,5 \text{ t.ha}^{-1}$. En la siembra de octubre el híbrido presentó un rendimiento muy similar con riego de $3,7 \text{ t.ha}^{-1}$ y en seco de $3,6 \text{ t.ha}^{-1}$ (Figura 6). La variedad en la siembra de agosto obtuvo un rendimiento de $6,9 \text{ t.ha}^{-1}$ con riego, siendo mayores que en el sistema de seco en donde obtuvo $5,6 \text{ t.ha}^{-1}$. En la siembra de octubre el rendimiento para la variedad en ambos sistemas fueron de $1,7 \text{ t.ha}^{-1}$ con riego y $0,8 \text{ t.ha}^{-1}$ en seco (Figura 7). Como se puede observar solo en la fecha óptima de siembra (agosto), el estrés hídrico tiene un efecto en el rendimiento en ambos cultivares. En octubre, a pesar de que las plantas fueron sometidas a cierto estrés hídrico se presentó un rendimiento muy similar a las que no lo estaban. Esto indica que el estrés hídrico no es el único factor que afecta el desarrollo del cultivo de maíz. Variables climáticas tales como: radiación solar, temperatura, entre otros; también influyen en el buen desarrollo del cultivo (Sáez 2018).

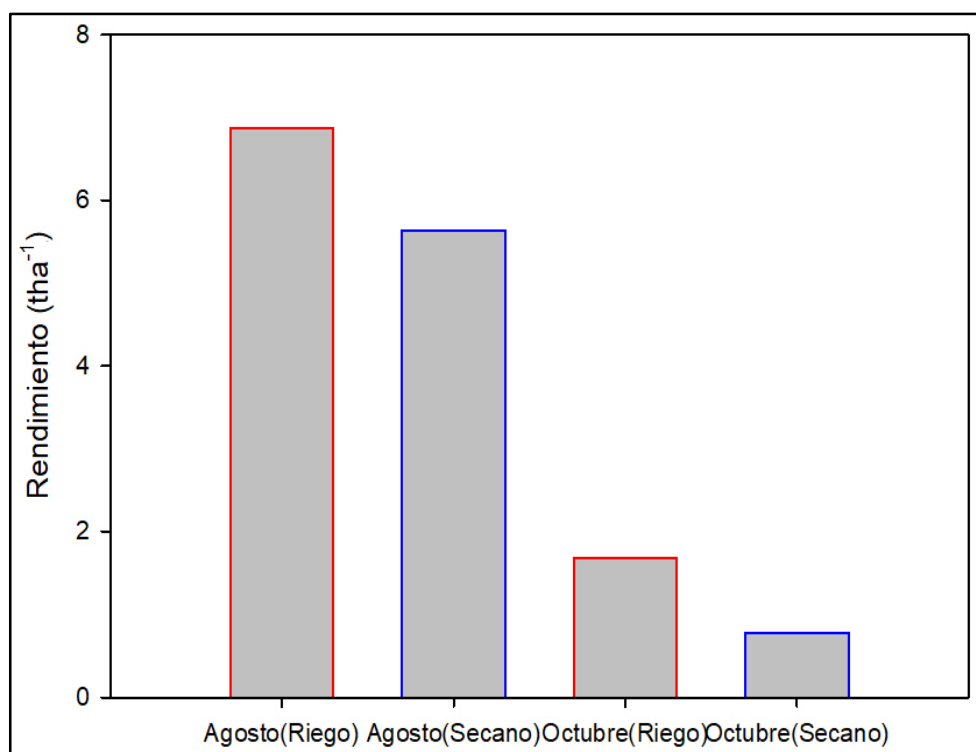


Figura 7. Rendimiento de la variedad por fecha y sistema.

CONCLUSIONES

- El índice hídrico tanto en el híbrido como en la variedad está relacionado con algunas variables de la planta tales como: el porcentaje de humedad, contenido de biomasa y clorofila, lo cual permite su utilización como medida predictiva del contenido de las misma durante el desarrollo del cultivo.
- El contenido de humedad del suelo tiene una relación negativa con el índice hídrico en los dos cultivares. A mayor contenido de agua en el suelo, los valores del índice hídrico disminuyen, sugiriendo que la planta no está bajo estrés hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- ANAM (Autoridad Nacional Del Ambiente, PA). 2011. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático: ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. – 2a ed.-- Panamá. 170 p.
- Azcón, J; Talón, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal 2ªEd. McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U., Madrid. 669 p.
- Burgos, C; Perdomo, R; Morales, C; Cayón, D. 1998. Efecto de los niveles de agua en el suelo sobre la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). II. Estado hídrico diario de palmas en etapa de vivero. Revista Palmas 19(2): 37-44.
- Cakir R. 2004. Effect of Water Stress at Different Development Stages on Vegetative and Reproductive Growth of Corn. Field Crops Research 89: 1-16.
- Carrasco, J. 2017. Respuesta al estrés hídrico en plantas mediterráneas perspectiva frente al cambio climático. Universidad Complutense. ES. 20 p.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, MX). 2013. Contenido de humedad del suelo. Guía para comparar las prácticas de manejo de cultivo. Programa de Investigación de Cambio Climático. MX. 12 p.
- Gordón, R. 2007. Guía técnica: Manejo integrado del cultivo de maíz 2.ed. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 47 p.
- Marshall, J.1979. Lösch revisited-again. Journal of Regional Science 19(4): 3.
- Pask, A; Pietragalla, J; Mullan, D; Chávez, P; Reynolds, M. 2013. Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo. México, D.F.: CIMMYT. 140 p.
- Pinter, P; Reginato, R. 1982. A thermal infrared technique for monitoring cotton water stress and scheduling irrigations. Transactions of the ASAE. p. 1651-1655.

Sáez, A. 2018. Efecto del déficit hídrico y temperatura ambiental sobre el cultivo de maíz en El Ejido de Los Santos. Universidad de Panamá. 94 p.

Taiz, L; Zeiger, E. 2002. Fisiología del estrés. In Fisiología Vegetal (Vol.II). Universitat Jaume I, Castelló de la Plana. ES. 1140 p.

Yzarraga, W; Trebejo, I; Noriega, V. 2010. Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 90 p.