

ÍNDICE HÍDRICO EN ARROZ BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO Y ALTAS TEMPERATURAS¹

*Luis Alberto Barahona-Amores²; Román Gordón-Mendoza³;
Rubén Samaniego-Sánchez⁴; Gustavo Castillo-Vega⁵*

RESUMEN

El objetivo del experimento era determinar el índice hídrico en el cultivo de arroz mediante la temperatura del cultivo (T_c), temperatura del suelo (T_s), temperatura ambiente (T_a) y el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, por sus siglas en inglés). El experimento se realizó en Tonosí, Los Santos, Panamá (entre 7°26'03" N y 80°24'37" O, a 18 msnm), de agosto 2016 a diciembre 2017. Se utilizaron las variedades IDIAP 38 e IDIAP 145-05, bajo secano y riego suplementario, con parcelas de 100 m² (por variedad y sistema) y cuatro réplicas por tratamiento. Se muestreó cada ocho días y se determinó el NDVI, contenido de humedad del cultivo, T_a , T_c , T_s y los índices hídricos por temperatura (T_c - T_a y T_s - T_a). Los resultados indican que el rendimiento de grano y el estado hídrico del cultivo en su ciclo fenológico completo no se correlacionan. Sin embargo, la humedad del cultivo en la etapa de llenado de grano y el rendimiento mostraron correlación positiva altamente significativa. En esta etapa también se encontró una correlación positiva entre la humedad del cultivo, la humedad del suelo y el NDVI. La humedad del cultivo, T_c y T_c - T_a mostraron correlación negativa. La humedad del cultivo, T_s , T_a y T_s - T_a , no se correlacionaron. Para IDIAP 38 e IDIAP 145-05, los índices que mejor se correlacionan con el estado hídrico del cultivo fueron NDVI, T_c y el T_c - T_a .

Palabras claves: temperatura del cultivo, temperatura del suelo, temperatura ambiente, rendimiento de grano, estado hídrico del cultivo.

¹Recepción: 7 de septiembre de 2018. Aceptación: 21 de noviembre de 2018. Investigación financiada con fondos del Proyecto de "Generación de Investigación e Innovación de estrategias agronómicas ante el cambio climático en el Arco Seco de Panamá.

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). M.Sc. Manejo de Suelos y Agua. e-mail: alberline@gmail.com

³ IDIAP. M.Sc. Protección de Cultivos. e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁴ IDIAP. M.Sc. Agricultura Ecológica. e-mail: ruben_sama15@hotmail.com

⁵ IDIAP. Agrónomo.



RICE WATER INDEX UNDER WATER STRESS AND HIGH TEMPERATURE CONDITIONS

ABSTRACT

The objective of this experiment was to determine water index of rice crop through crop temperature (Tc), soil temperature (Ts), ambient temperature (Ta) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The experiment was realized at Tonosí, Los Santos, Panama (between 7°26'03" N and 80°24'37" W, at 18 masl), from August 2016 to December 2017. IDIAP 38 and IDIAP 145-05 varieties were tested, under rainfed and supplementary irrigation planting conditions, in 100 m² plots (by variety and planting condition) and four treatment replicates. Samples were taken every eight days and NDVI, crop moisture content, Ta, Tc, Ts, and temperature water indexes (Tc-Ta and Ts-Ta) were determined. Results indicate that grain yield and water status of crop through the complete phenological cycle are not correlated. However, crop moisture and crop yield showed a highly significant positive correlation, during the grain filling stage. In this stage, positive correlations between crop moisture, soil moisture and NDVI were also found. Crop moisture, Tc and Tc-Ta showed a negative correlation. Crop humidity, Ts, Ta and Ts-Ta, were not correlated. For IDIAP 38 and IDIAP 145-05, indexes that best correlate with the water state of crop were NDVI, Tc and Tc-Ta.

Key words: crop temperature, soil temperature, ambient temperature, grain yield, water status of crop.

INTRODUCCIÓN

El contenido de agua en las plantas es una de las variables más críticas para explicar la actividad vegetativa y los modelos de productividad vegetal (Boyer 1995). El contenido de agua es un parámetro clave para explicar la evolución fenológica de las formaciones vegetales, detectando situaciones de déficit que puedan dar lugar a deterioros críticos del tejido vegetal (Hale y Orcutt 1987). 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 (Chuvieco *et al.* 2001).

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 las disponibilidades hídricas son limitantes, la transpiración se reduce y la temperatura foliar aumenta. Cuando 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). La diferencia entre la temperatura del cultivo con la temperatura del aire y del suelo, han sido empleadas como índices asociados al estado hídrico de la vegetación (Morán *et al.* 1994, Nicols *et al.* 2010).

El Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), es usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación mediante la utilización de bandas infrarrojas (Manrique 1999). El NDVI ha sido correlacionado con numerosas variables como la deficiencia de nutrientes en los cultivos, el rendimiento de cereales de grano pequeño y el estrés hídrico prolongado de las plantas. La variabilidad de un índice no está relacionada con una sola característica de la planta o del suelo. Por lo cual, es necesario tener una idea del factor limitante de crecimiento del cultivo. Por ejemplo, en un campo donde el factor limitante es el N, seguramente el NDVI tendrá una fuerte correlación con la cantidad de N disponible en el suelo; sin embargo, en una parcela donde el factor limitante es el agua, el NDVI estará correlacionado en igual medida con la humedad del suelo disponible para las plantas (Verhulst 2010).

Este trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar el índice hídrico del cultivo de arroz mediante la utilización del NDVI, la temperatura de la planta, suelo y aire, que permitan ver el efecto del estrés hídrico del cultivo sobre el rendimiento, que sirvan como herramienta en la toma de decisiones para el manejo agronómico del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica: El estudio se realizó en los terrenos del Instituto Profesional Técnico Agropecuario de Tonosí (IPTAT), ubicado en el corregimiento de El Cacao, distrito de Tonosí, provincia de Los Santos, entre los 7°26'03" de latitud Norte y los 80°24'37" longitud Oeste, a 18 msnm (Figura 1). Los suelos fueron clasificados como Typic Udifluvents, textura franca, régimen de humedad Údico y régimen de temperatura Isohipertérmico (MIDA 2015). Esta localidad está ubicada dentro de la zona de vida correspondiente a Bosque Húmedo Tropical según la clasificación de Holdridge (1967).

Material genético: El material genético utilizado en el experimento fueron dos variedades generadas por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, denominadas IDIAP 38 de ciclo intermedio e IDIAP 145-05 de ciclo precoz.

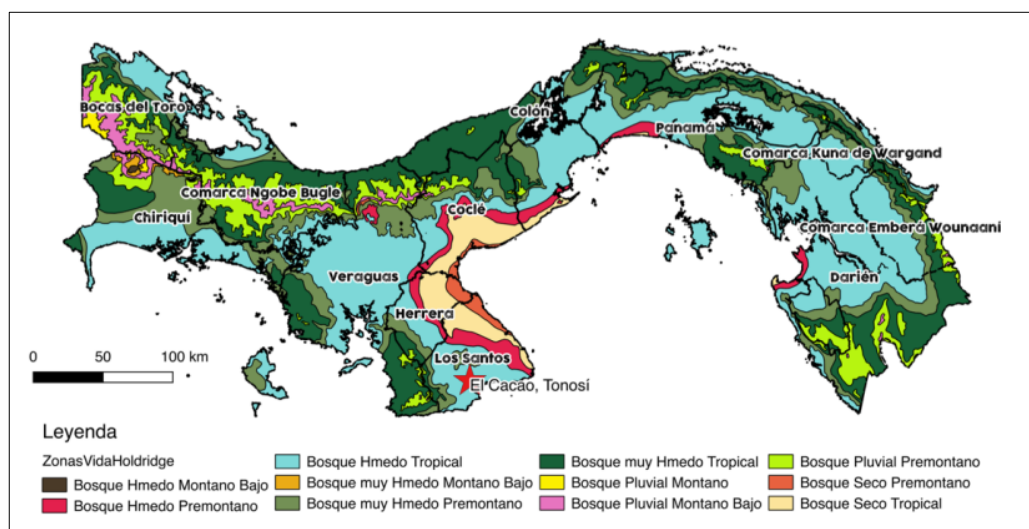


Figura 1. Localización geográfica del estudio de acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (1967).

Características edáficas: En cuanto a contenido de nutrientes y según los niveles críticos establecidos por Name y Cordero (1987), presenta niveles altos de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe); niveles medios de fósforo (P), manganeso (Mn), cobre (Cu); además unos niveles bajos de aluminio (Al) y zinc (Zn). En cuanto a sus características física-química, presenta una textura Franca, con una coloración en seco pardo amarillo claro, pH poco ácido, una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) media, con una baja saturación de aluminio y una elevada saturación de bases, la cual está dominada por la saturación de calcio (70,8%) y un nivel medio de materia orgánica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características física-química del suelo utilizado en el estudio de absorción de nutrientes.

P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
<i>mg l⁻¹</i>			<i>cmol(+) kg⁻¹</i>				<i>mg l⁻¹</i>	
35	224	25	9,5	0,2	35	80	2,9	5,5
Textura	color	CICE		pH	Al bases		MO	
		<i>cmol(+) kg⁻¹</i>			% saturación		%	
Franco	Pardo A. C	35,8		6,2	0,56	99,44	4,4	

Fuente: Laboratorio de Suelos, IDIAP 2016.

Arreglo en campo y manejo: El ensayo se realizó durante los ciclos agrícolas 2016 y 2017 en el periodo de agosto a diciembre. Ambas variedades se establecieron en los sistemas secano y riego suplementario. Se utilizaron parcelas de 100 m² para cada variedad y sistema (10 m x 10 m). La siembra se realizó al voleo con una densidad de siembra de 130 kg semilla ha⁻¹. El manejo agronómico se realizó de acuerdo con las tecnologías generadas por el IDIAP (Camargo *et al.* 2014). La cosecha se realizó cuando ambas variedades alcanzaron la madures fisiológica con una humedad de grano de 25%. Se calculó el rendimiento de grano limpio y seco al 14% humedad.

Muestreo en campo: Se realizaron muestreos al azar utilizando cuatro réplicas por muestra, cada ocho días a partir de la germinación hasta culminado el ciclo fenológico del cultivo.

Análisis estadístico: Se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar la relación entre el contenido de humedad de la planta y el rendimiento, y los índices hídricos determinados, además un análisis de regresión y análisis multivariado de componentes principales.

Variables de respuesta:

- Temperatura del suelo y cultivo con la utilización de un termómetro infrarrojo digital portátil expresado en °C.
- Temperatura del aire proveniente de la base de datos de la Red Agroclimática del IDIAP (Batista *et al.* 2017).
- Índice hídrico por Temperatura, como resultado de la diferencia entre la temperatura del cultivo (Tc) y del suelo (Ts) con la temperatura del aire (Ta) (Tc-Ta y Ts-Ta).
- Índice de vegetación normalizada de diferencia (NDVI) con un sensor portátil GreenSeeker™.
- Contenido de humedad del suelo y de cultivo utilizando el método gravimétrico (Villarreal y Name 1996).
- Rendimiento de grano al 14% de humedad (CIAT 1983).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar los datos incluyendo el ciclo fenológico completo (Cuadro 2), el contenido de agua en el cultivo no mostró correlación con los índices hídricos evaluados ni con el

rendimiento de grano, debido a que el contenido de humedad de la planta está influenciado por el ciclo vegetativo del arroz, ya que a medida que transcurre el tiempo, la planta fisiológicamente produce mayor porcentaje de materia seca (menor contenido de humedad), independientemente del contenido de humedad que haya en el suelo.

Cuadro 2. Análisis de correlación de Pearson entre el estado hídrico del cultivo con respecto a los índices hídricos y el rendimiento durante el ciclo fenológico.

Variable	Combinado	IDIAP 145-05	IDIAP 38
T° cultivo	-0,30	-0,09	-0,38
% humedad suelo	0,53	0,16	0,57
T° suelo	-0,14	-0,08	-0,18
NDVI	0,43	0,09	0,42
T° ambiente	0,01	-0,04	-0,03
Tc-Ta	-0,30	-0,08	-0,36
Ts-Ta	-0,14	-0,07	-0,17
Rendimiento grano	0,09	-0,09	0,02

Al analizar los datos por etapa fenológica se encontró que, durante el llenado de grano, el contenido de humedad del cultivo muestra correlación con el rendimiento, la temperatura del cultivo, humedad del suelo, NDVI y el índice Tc-Ta, mientras que no mostró correlación con la temperatura del suelo, la temperatura ambiente ni con el índice Ts-Ta (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de correlación de Pearson entre el estado hídrico del cultivo con respecto a los índices hídricos y el rendimiento durante el llenado de grano.

Variable	Combinado	IDIAP 145-05	IDIAP 38
T° cultivo	-0,93**	-0,95**	-0,92**
% humedad suelo	0,79**	0,91**	0,88**
T° suelo	-0,29	0,14	-0,38
NDVI	0,89**	0,90**	0,99**
T° ambiente	-0,22	-0,14	-0,23
Tc-Ta	-0,90**	-0,90**	-0,90**
Ts-Ta	-0,19	0,17	-0,25
Rendimiento grano	0,99**	0,99**	0,99**

Humedad de la planta y rendimiento de grano

Existe una correlación positiva (0,99**) en el contenido de humedad de la planta durante la fase de llenado de grano respecto al rendimiento en ambas variedades (Cuadro 3). Existe una relación lineal directa, mostrando que, a mayor contenido de agua en la planta durante esta etapa, mayor es el rendimiento de grano (Figura 2). Estos resultados

coinciden con lo reportado por Yoshida (1981), García *et al.* (2010), Bouman *et al.* (2014), donde indican que las etapas reproductivas de floración y llenado de grano presentan mayor susceptibilidad al estrés hídrico afectando el rendimiento.

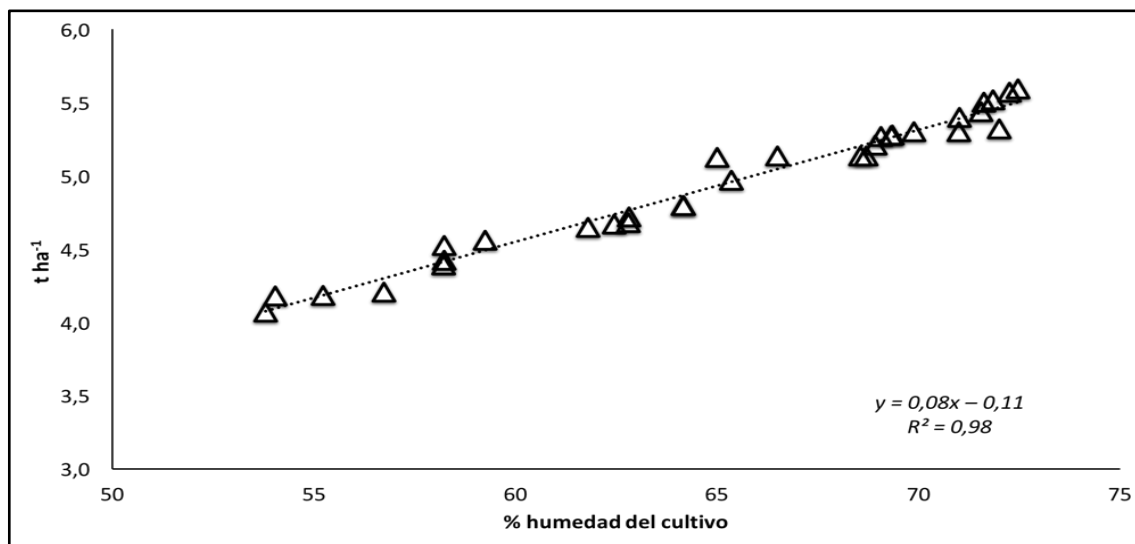


Figura 2. Rendimiento de grano según el contenido de humedad del cultivo de arroz en la etapa de llenado de grano.

Humedad de la planta y humedad del suelo

Se encontró una correlación positiva entre el contenido de humedad del suelo y el contenido de humedad del cultivo durante el llenado de grano (Cuadro 3), presentando un mejor ajuste en la variedad IDIAP 145-05 (0,91**) que en la IDIAP 38 (0,88**). La humedad del cultivo se incrementó en forma lineal a medida que la humedad del suelo aumentó hasta alcanzar un “Plateau” cuando el contenido de humedad foliar es de 72%. Esto se logró con una humedad de suelo de 24,1% y a partir de este punto por más agua que exista en el suelo, no hubo incremento en el estado hídrico del cultivo (Figura 3), lo que indica que, para este suelo, una humedad de 24% en la etapa de llenado de grano es suficiente para mantener un buen estado hídrico del cultivo, traducido en un buen rendimiento. Trabajos anteriores reportan resultados similares, observando reducción del potencial hídrico del cultivo conforme disminuye el potencial húmedo del suelo (Ismail 2010, May-Lara 2011, Ferrara *et al.* 2011).

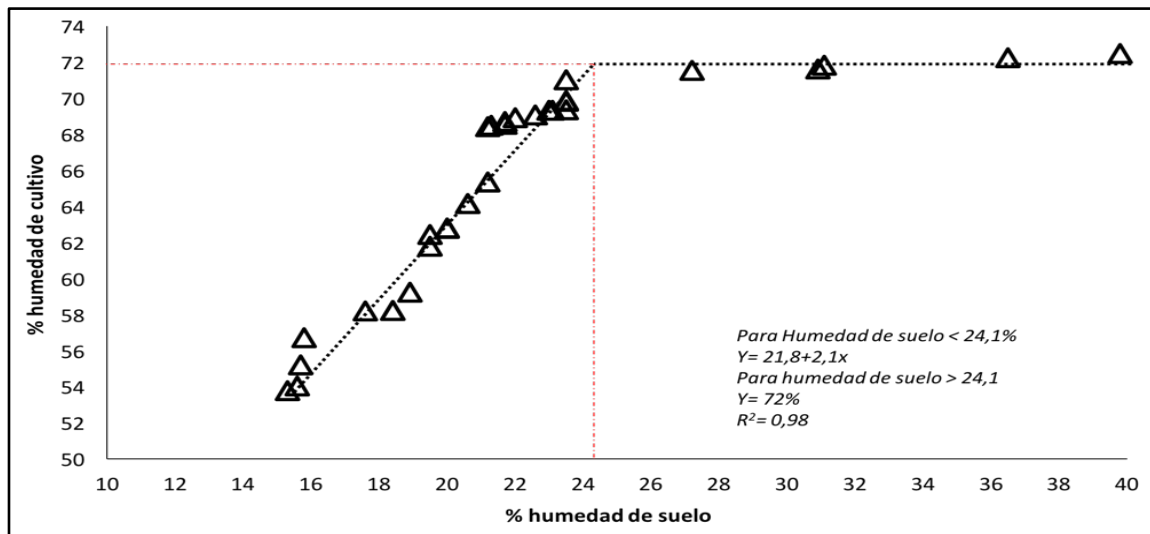


Figura 3. Humedad del cultivo respecto al contenido de agua del suelo en la etapa de llenado de grano.

Humedad de la planta y temperatura del cultivo

Los resultados muestran una correlación negativa entre la temperatura del cultivo y el contenido de humedad de la planta durante el llenado de grano (Cuadro 3), presentando un mejor ajuste en la variedad IDIAP 145-05 (-0,95**) con respecto a la IDIAP 38 (-0,92**). Existe una relación lineal inversa donde a medida que aumenta la temperatura del cultivo su contenido de humedad va decreciendo (Figura 4).

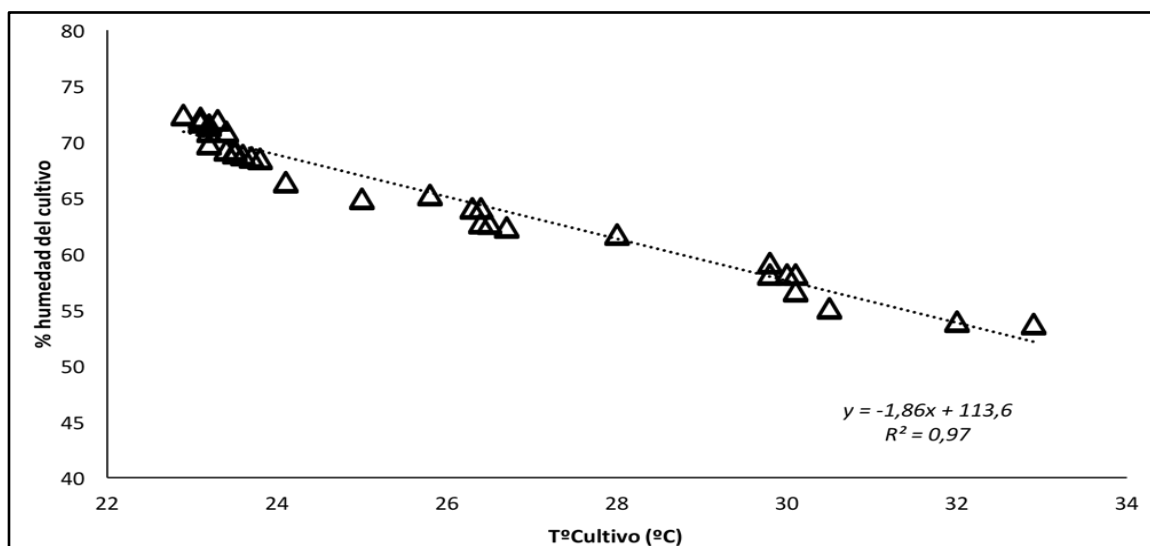


Figura 4. Humedad del cultivo respecto a la temperatura del cultivo en la etapa de llenado de grano.

Esta relación ha sido expuesta por varios autores, reportando que cuando un cultivo presenta estrés hídrico, los estomas se cierran y la transpiración decrece, por lo que la temperatura de la hoja se incrementa, así cuando una planta transpira completamente, no hay estrés hídrico y la temperatura de la hoja oscila de 1 °C a 4 °C menos que la temperatura ambiental, sin embargo, cuando la transpiración decrece, la temperatura de la hoja asciende y puede alcanzar de 4 °C a 6 °C más que la temperatura del aire; en este caso, el déficit hídrico es alto y la transpiración de las hojas se ve drásticamente reducida resultando un incremento de la temperatura foliar (Idso y Clawson 1986, López-López *et al.* 2009, De La Hoz 2016).

Humedad de la planta y NDVI

Existe una correlación positiva entre NDVI y el contenido de humedad del cultivo durante el llenado de grano (Cuadro 3), presentando un mejor ajuste en la variedad IDIAP 38 (0,99**) con respecto a la IDIAP 145-05 (0,90**). Se encontró una relación cuadrática, donde al aumentar el contenido de humedad de la planta, aumentan los valores de NDVI (Figura 5). Estos resultados son similares a los expuestos por Aguilar *et al.* (2010), Sancha Navarro (2010), Palacios-Vélez *et al.* (2011), que afirman que los valores de NDVI disminuyen drásticamente cuando el estrés hídrico del cultivo es mayor. González *et al.* (2016), reportaron correlaciones positivas entre el NDVI y el estado hídrico de cultivos como la vid, mientras que Calera *et al.* (2016) han utilizado el NDVI para calcular necesidades hídricas del mismo cultivo.

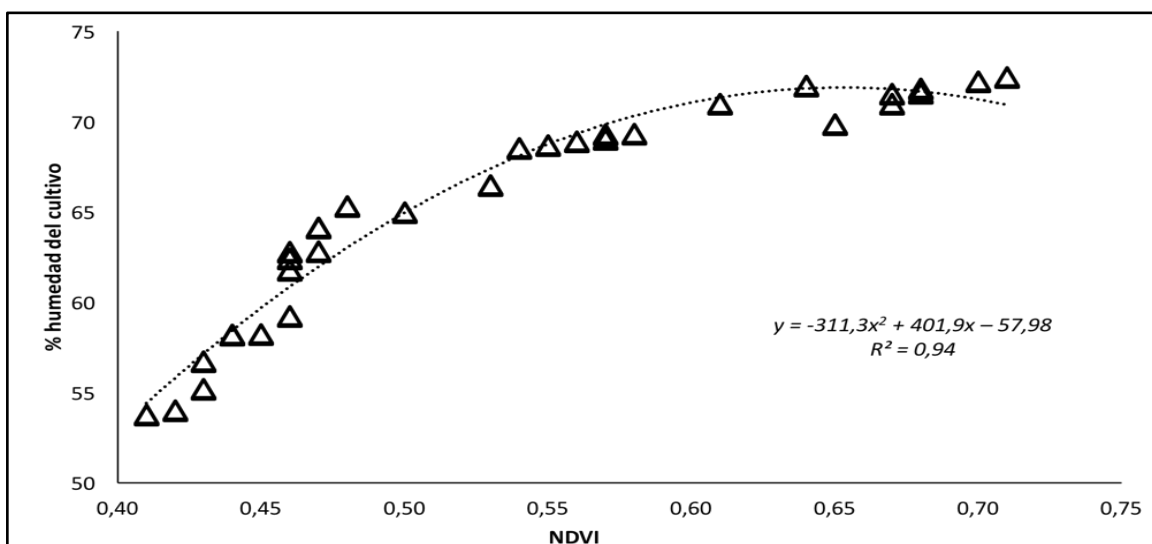


Figura 5. Humedad del cultivo respecto a valores de NDVI en la etapa de llenado de grano.

Humedad de la planta y el Índice hídrico por temperatura (IHT)

Se encontró una correlación negativa entre el IHT respecto al contenido de humedad del cultivo en la etapa de llenado de grano, con un buen ajuste en ambas variedades (-0,90**). Existe una relación lineal inversa entre el IHT y el contenido de humedad de la planta, de manera que, si el IHT es negativo, las plantas están bien dotadas de agua y si es positivo existe un estrés hídrico (Figura 6). Esta relación fue estudiada anteriormente donde se expone que, cuando la temperatura del cultivo (T_c) es mayor a la temperatura del aire (T_a), resultan valores negativos de IHT, indicando que la planta presenta una alta transpiración (sin problemas de estrés hídrico), mientras que valores positivos del IHT indican un T_c superior al T_a , señalando una reducción en la transpiración por consecuencia de un déficit de humedad (Idson *et al.* 1981, Idson 1982). Resultados similares afirman que valores positivos de IHT sugieren déficit hídrico en varios cultivos, además de mermas en el rendimiento (Helyez *et al.* 2006, Vázquez 2012, Tarqui-Delgado 2016).

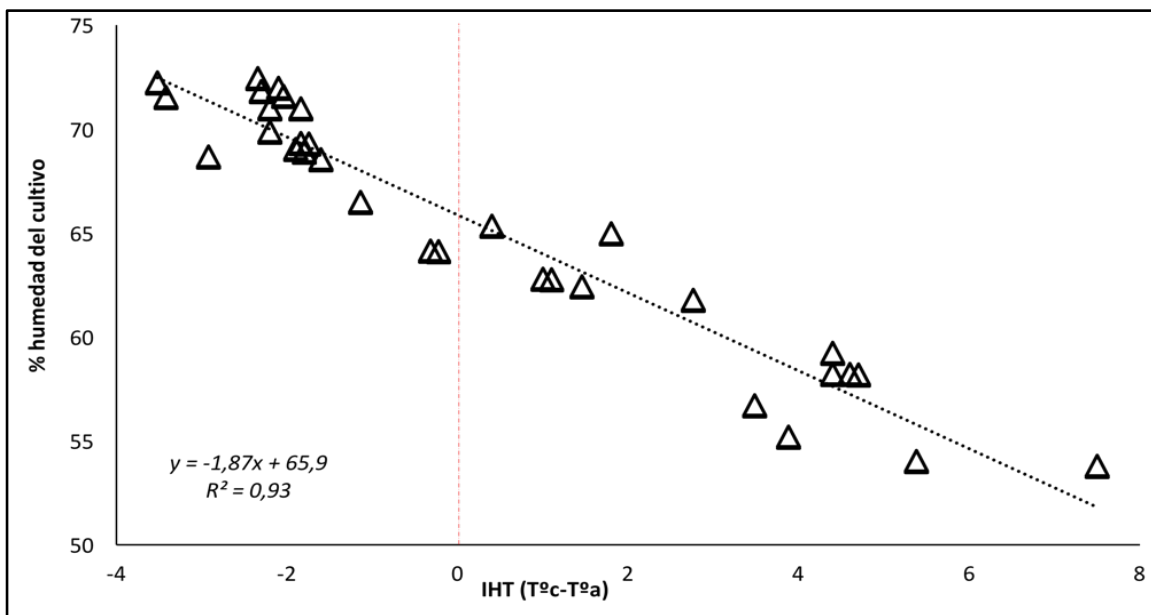


Figura 6. Humedad del cultivo respecto a valores IHT ($T_c - T_a$) en la etapa de llenado de grano.

Análisis multivariado de componentes principales

Se realizó la medida de la adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (Coeficiente KMO), la cual contrasta si las correlaciones parciales entre las variables son pequeñas, toma valores entre 0 y 1, e indica que el análisis factorial es tanto más adecuado cuanto

mayor sea su valor. Esta prueba resultó con un coeficiente de 0,82 indicando una buena adecuación muestral (Kaiser 1974). También se realizó la prueba de esfericidad de Bartlett, que contrasta si la matriz de correlaciones es una matriz identidad, lo cual indicaría que el modelo factorial es inadecuado. Esta prueba resultó que la significancia es menor al 0,001 encontrando diferencia significativa y mostrando adecuación del modelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de adecuación muestral Kaiser-Meyer-Olkin y Prueba de esfericidad de Bartlett.

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0,82
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	114489
	Grados de libertad	36
	Significancia	<0,000

El análisis multivariado de componentes principales muestra que el Componente Principal 1 (CP-1) explica el 60,6% de la varianza que existe entre las variables estudiadas, mientras que el Componente Principal 2 (CP-2) explica el 23,4%. Entre ambos componentes explican el 84% de la varianza (Cuadro 5).

Cuadro 5. Varianza total explicada por el análisis de componentes principales.

Componente	Autovalores iniciales		
	Varianza total	% de varianza	% acumulado
CP-1	5,449	60,6	60,6
CP-2	2,110	23,4	84,0
Residuo	1,441	16,0	

En el Biplot del análisis de Componentes Principales se observa una relación entre la temperatura del cultivo y el ITH (Tc-Ta) ya que éstos al presentar valores elevados indican estrés hídrico, lo cual se asocia a niveles de humedad más bajos presentes en el sistema de secano. Los valores altos de humedad del suelo, humedad del cultivo y NDVI están más asociados al alto rendimiento, los cuales se agrupan junto al sistema de riego (Figura 7).

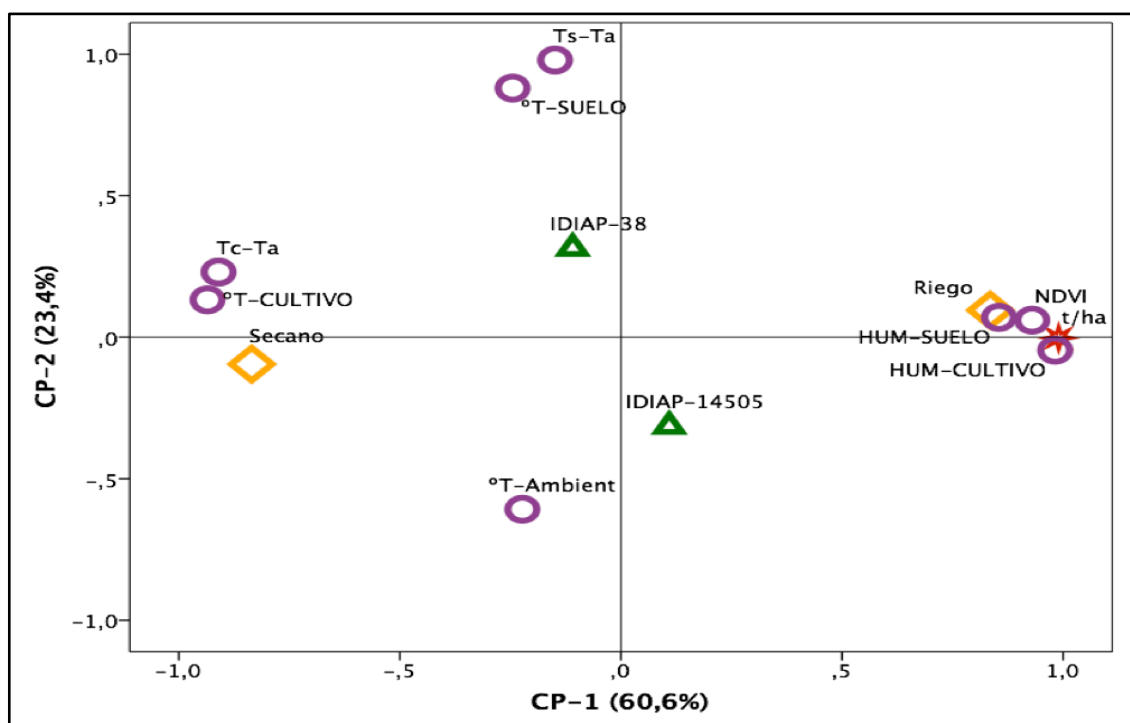


Figura 7. Biplot del análisis multivariado de componentes principales.

CONCLUSIONES

- El contenido de humedad de la planta en la etapa de llenado de grano afecta el rendimiento.
- Los índices NDVI y la temperatura del cultivo se ajustan mejor a la variedad IDIAP 38.
- Los índices de temperatura del cultivo y el IHT (Tc-Ta) se ajustan mejor a la variedad IDIAP 145-05.
- Se determinaron Índices Hídricos asociados al estado de humedad de la planta en la etapa de llenado de grano.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, N; Galindo, G; Fortanelli, J; Contreras, C. 2010. Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. Universidad de Colima. Avances en Investigación Agropecuaria 14(2):49-65.
- Batista, A; Urriola, D; Bustamante, S; Batista, E; Díaz, L. 2017. Boletín del clima en la región de Azuero. Red Agroclimática y calidad de agua en dos sub-cuencas de Los Santos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 7 p.
- Bouman, B; Haefele, S; Izzi, G; Peng, S; Hsiao, T. 2014. Arroz: Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Organización de Las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, IT. 109-118 pp.
- Boyer, JS. 1995. Measuring the water status of plants and soils. Academic Press, Inc. San Diego. 178 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.
- Calera, A; Campos, I; Garrido, J. 2016. Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. Universidad de Castilla La Mancha. España. 20 p.
- Camargo, I; Quirós Mcl., E; Zachrisson, B. 2014. Innovación tecnológica para el manejo integrado del cultivo de arroz en Panamá. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 140 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, PA). 1983. Sistema de Evaluación Estándar para Arroz. Cooperación IRRI-CIAT. Segunda edición, CO. 61 p.
- Chuvioco, E; Salas, FJ; Aguado, I; Cocero, D; Riaño, D. 2001. Estimación del estado hídrico de la vegetación a partir de sensores de alta y baja resolución. Universidad de Alcalá,

España. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la información Geográfica, GeoFocus no. 1:1-16.

De La Hoz, F. 2016. Sensores de monitoreo de humedad de suelo y cultivo. Centro del agua para la agricultura. Universidad de Concepción, Chile. 23 p.

Ferrara, A; Lovelli, S; Di Tommaso, T; Perniola, M. 2011. Flowering, growth and fruit setting in green house bell pepper under water stress. Journal of Agronomy 10(1):12-19.

García, A; Dorado, M; Pérez, I; Montilla, E: 2010. Efecto del déficit hídrico sobre la distribución de foto asimilados en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.). Venezuela. Inter ciencia 35(1):47-54.

González, XP; Fandiño, M; Rey, BJ; Cancela, JJ. 2016. Valoración del estrés hídrico empleando Índices de Vegetación en *Vitis vinifera* cv. Treixadura en la DO Ribeiro (España). II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. Automatización y TICs en agricultura, del 10-12 de febrero de 2016. Almería, ES. pp. 337-340.

Hale, M; Orcutt, DM. 1987. The Physiology of Plants Under Stress. New York, John Wiley & Sons. 206 p.

Holdridge, Lr. 1967. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Ecología basada en zonas de vidas. San José, CR. 206 p.

Idso, S. B., Jackson, R.D; Pinter, P.J; Reginato, R.J; Hatfield. J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agricultural Meteorology: no. 24:45-55.

Idso, SB; Clawson, KL. 1986. Foliage temperature: effects of environmental factors with implications for plant water stress assesment and the CO₂/Climate connection. Water Resources Research 22(12):1133-1138.

Idso, SB. 1982. Non-water-stressed baselines, a key to measuring and interpreting plant water stress. Agricultural Meteorology no. 27:59-70.

- Ismail, SM. 2010. Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). *Meteorology, environment and arid land agriculture sciences* 21(2): 29-43.
- Kaiser, HF. 1974. A second-generation little jiffy. *Psy-chometrika* no. 35:401-415.
- López-López, R; Arteaga-Ramírez, R; Vázquez-Peña, M; López-Cruz, I; Sánchez-Cohen, I; Ruiz-García, A. 2009. Índice de estrés hídrico del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(3):259-267.
- Manrique, E. 1999. Índice de vegetación. Aplicación de NDVI. Teledetección, avances y aplicaciones. *Asociación Española de teledetección*, pp. 217-219.
- May-Lara, C; Pérez-Gutierrez, A; Ruiz-Sánchez, E; Ic-Caamal, A; García-Ramírez, A. 2011. Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de *Capsicum chinense* Jacq. y su relación con el desarrollo de *Bemisia tabaci* Genn. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* no. 14:1039-1045.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2015. Estudio, Diseño Y Construcción Del Proyecto Integral Y Multipropósito Para El Desarrollo Agropecuario Del Valle de Tonosí, Provincia De Los Santos. Hidalgo & Hidalgo constructores. 193 p.
- Morán, MS; Clarke, TR; Inoue, Y; Vidal, A. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index, *Remote Sensing of Environment* no. 49:246-263.
- Name, B. Cordero, A. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. Compendio de los resultados de investigación presentados en la Jornada Científica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Región Central. 23 p.
- Nicols, R; Estrela, M; Valiente, J; Barbera, M. 2010. Análisis de correlaciones entre la temperatura del aire y la temperatura de las superficies vegetadas medida con radiometría térmica. *Revista de teledetección* no. 34:36-43.

Palacios-Vélez, E; Palacios-Sánchez, J; Palacios-Sánchez, L. 2011. Agricultura de riego asistida con satélites. *Tecnología y Ciencias del Agua* 2(2):69-81.

Sancha Navarro, E. 2010. El estudio de los índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima. *Tecnologías de la Información Geográfica*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. pp.1095-1108.

Tarqui-Delgado, M. 2016. Determinación del índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga, mediante el método de termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. Tesis de maestría. Universidad Mayor De San Andrés. Ecuador. 147 p.

Verhulst, N; Govaerts, B; Fuentes Ponce, M. 2010. Sensor portátil GreenSeeker TM para la medición del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI): Una herramienta para la evaluación integral de las prácticas agronómicas. Parte A: Conceptos y estudios de caso. México, D.F.; CIMMYT. 9 p.

Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 110 p.

Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 296 p.