

Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia

• Ana María Toro-Trujillo • Ramón Arteaga-Ramírez* •
• M. Alberto Vázquez-Peña • L. Alicia Ibáñez-Castillo •

Universidad Autónoma Chapingo, México

*Autor para correspondencia

Resumen

Toro-Trujillo, A. M., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., & Ibáñez-Castillo, L. A. (noviembre-diciembre, 2016). Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 105-122.

El cultivo de banano es la actividad agrícola más importante de la economía del Urabá antioqueño, desarrollada en 49 000 ha. El fenómeno ENSO ha afectado la producción debido a déficit de precipitación, incrementos de temperatura y periodos de sequía más intensos, a lo que se suman las altas incertidumbres asociadas con el cambio climático y la distribución desigual de las lluvias en la zona; todo ello ha aumentado la necesidad de riego. El objetivo fue estimar mediante simulaciones con el modelo CROPWAT los requerimientos de riego y la reducción del rendimiento del banano cuando se cultiva en condiciones sin riego en tres escenarios de precipitación: 20% (húmedo), 50% (normal) y 80% (seco) de probabilidad de excedencia. Se usaron datos diarios de precipitación y temperatura máxima y mínima de siete estaciones meteorológicas, información fenológica y referencias edafológicas del Urabá, con siembras: en la estación seca (verano) (SV) y en la estación húmeda (temporada de lluvias) (SL). En los resultados, la evapotranspiración del cultivo presenta sus valores mayores con (SV) en marzo-agosto y con (SL) en julio-agosto, Salpicón es la mayor. Todas las estaciones presentan sus valores menores de precipitación efectiva entre enero y marzo, y los requerimientos hídricos mayores para la SV y en el escenario seco (80 %). La reducción del rendimiento en SV fue de 0.9% (húmedo), 5 a 15% (normal), y 25 a 30% (seco); en SL de 2% (húmedo), 1 a 3% (normal), y 5 a 10% (seco). En la zona norte del Urabá antioqueño, el riego suplementario es importante para no tener bajas en el rendimiento en los escenarios seco y normal.

Palabras clave: evapotranspiración, precipitación efectiva, requerimiento de riego, escenario.

Abstract

Toro-Trujillo, A. M., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., & Ibáñez-Castillo, L. A., (November-December, 2016). Irrigation Requirements and Yield Prediction of Bananas Growing through a Simulation Model in Urabá Antioqueño. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(6), 105-122.

Banana cultivation is the main agricultural activity intense economy Urabá, Antioquia, developed in 49000 ha, the ENSO phenomena have affected the production deficit of precipitation, temperature increases, droughts further the high uncertainties associated with climate change and the uneven distribution of rainfall in the area, have increased the need for irrigation. The objective was to estimate the model through simulations CROPWAT irrigation requirements and yield reduction when grown banana in rainfed in conditions without irrigation in three scenarios of precipitation is 20% (wet), 50% (normal) and 80% (dry) probability of exceedance. Daily precipitation data and Maximum and Minimum Temperature 7 weather stations, phenological information and references Urabá soil, sown in Summer (SV) and planting in the rainy season (SL) were used. In the results presented crop evapotranspiration their elders SV values from March to August and SL in July-August, with the largest spatter. All stations have the lowest values of effective rainfall from January to March, the largest water requirements for SV and rain 80%. The yield reduction was 5-15% (normal) and 25-30% (dry) in SV and SL was 1-3% (normal) and 5-10% (dry) in the wet stage were lower 0.9% and 2% for SV SL. In the northern Urabá Antioquia, supplemental irrigation is important to avoid decreases in performance on dry, normal scenarios.

Keywords: Evapotranspiration, effective rainfall, irrigation requirement, scenario.

Recibido: 30/06/2014
Aceptado: 01/04/2016

Introducción

Colombia, en el ámbito mundial, aporta en la actualidad 10% de la producción total del banano tipo exportación (Espinal, Martínez & Acevedo, 2005). El banano para Colombia representa un 3% de las exportaciones totales, 35% del PIB agropecuario sin el café y 0.4% del PIB de Colombia, con 90 millones de cajas exportadas, que significan 757.3 millones de dólares norteamericanos al año (Augura, 2013). Para la zona del Urabá representa la principal actividad económica, pues agrupa unos 22 mil trabajadores (Espinal *et al.*, 2005). En 2012, el cultivo de banano ocupó 49 000 ha del área agrícola sembrada del país y alcanzó 1 834 822 Tm de la producción agrícola total. La zona del Urabá aporta 77% de la producción, con un rendimiento promedio para banano de exportación de 33.7 t ha⁻¹, superior al nacional de 32.3 t ha⁻¹ (Agronet, 2013).

La producción del banano en el Urabá en los últimos años ha sido afectada por el fenómeno ENSO, como consecuencia de los déficit de precipitación y los incrementos de temperatura (Guarín, 2011), y la tendencia lineal decreciente de la producción por hectárea en función de la evaporación potencial/precipitación (Quiceno, 2004). En este mismo sentido, IDEAM (2010) pronosticó que el cambio climático puede alterar los patrones de distribución de las lluvias y posiblemente se traducirá en periodos de sequía más intensos que pueden aumentar aún más su impacto en la producción de banano. Bajo sequía, las raíces producen señales que inducen al cierre parcial de los estomas, lo que permite que el banano permanezca altamente hidratado, con una reducción de carbono asimilado y, por lo tanto, una disminución en el rendimiento (Turner, Fortescue, & Thomas, 2007). Como consecuencia a la alta sensibilidad del banano al estrés hídrico, más de las dos terceras partes que se cultivan para la exportación en todo el mundo están bajo condiciones de riego, entre ellas zonas en el trópico con periodos secos marcados (Carr, 2009), situación que no se presenta en la zona en la temporada seca de diciembre a

marzo. Asimismo, Machovina y Feeley (2013) plantean el riego suplementario en la zona de estudio bajo diferentes escenarios de cambio climático. La zona no cuenta con más de 5% en áreas bajo riego. Con todo lo planteado, se requiere el conocimiento de las necesidades reales de agua del cultivo para la gestión y planificación de los recursos hídricos (Cigales & Pérez, 2011), pero en este proceso se necesita experimentación, recursos económicos, tiempo y mano de obra. Los resultados no se pueden exportar a otras regiones, pero los modelos computacionales evalúan las necesidades de riego y productividad del agua, y pronostican el rendimiento para regiones con condiciones meteorológicas distintas y situaciones de suelo específicas que no se han estudiado (Ruíz, Arteaga, Vázquez, López, & Ontiveros, 2011). Existen diferentes aplicaciones del modelo CROPWAT. Eid, Marsafaw y Ouda (2006) lo implementaron para la evaluación del impacto de cambio climático sobre la evapotranspiración y rendimiento con tres escenarios para maíz, trigo y algodón en Egipto. Encontraron un aumento en la evapotranspiración y disminución del rendimiento para maíz y trigo, y como estrategia de mitigación proponen la expansión del cultivo de algodón que se ve más favorecido ante las condiciones modeladas. Del mismo modo, Cigales y Pérez (2011) estimaron la influencia de los elementos climáticos y suelos en los requerimientos hídricos del banano, en conjunto con el programa CROPWAT. De acuerdo con los resultados del estudio, se concluyó que éste constituye una herramienta útil, fácil y versátil para efectuar ajustes en los programas de riego o bien calcular la lámina y frecuencia de riego en huertas donde se desea determinar un programa de riego para el cultivo del banano con buena precisión.

Shen, Li, Chen, Qi y Zhang (2013), y Freitas, Ramos y Costa (2008) plantean que la determinación de la variación temporal y espacial de la demanda de riego agrícola y los requerimientos de cultivos son de importancia para ayudar a mejorar la gestión del agua hacia el uso sostenible. Igualmente, Chopin y Blazy (2013) indican

la importancia de describir las causas de la variabilidad de los rendimientos y de esta manera focalizar las estrategias y políticas de promociones y de apoyo para facilitar la adopción de buenas prácticas a los agricultores de banano. El objetivo del presente estudio fue estimar mediante simulaciones los requerimientos de riego y la reducción del rendimiento en el cultivo de banano en condiciones de secano en los siguientes escenarios de precipitación: normal (50%), seca (80%) y húmeda (20%) mediante el modelo *CROPWAT* en la zona norte del Urabá antioqueño.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la zona norte del eje bananero del Urabá antioqueño. Se extiende entre los 7° 43.779' a los 8° 01.035' de latitud norte, y entre los 76° 36.677' y 76° 44.802' de longitud oeste, y está comprendida entre los ríos Curru-lao y Apartadó (figura 1). Según IGAC (2007), el eje bananero presenta un rango altitudinal que va desde 1 a 1 000 msnm; la precipitación promedio multianual fluctúa entre los 1 600 y 3 600 mm; la temperatura media multianual oscila entre los 22.8 y 28.5 °C; la evapotranspiración potencial (ETP) estimada por el método Thornthwaite registra valores entre 1 100 y 2 150 mm; la humedad relativa está en función del ciclo de lluvias de la zona y presenta los valores más alto para los periodos mayo-abril y octubre-noviembre, y humedades bajas de diciembre a marzo; en este último se tiene el valor más bajo (Roldán, 2008).

Información climática

Para las siete estaciones de CI Banancol se usó la información de precipitación (mm) a nivel diario para el periodo de 2004-2012; la temperatura máxima y mínima para el periodo 2004-2009, y se empleó la radiación solar medida en la estación Pista Indira para el cálculo de la evapotranspiración de las siete estaciones de Banancol

CI, como lo recomiendan Allen, Pereira, Raes y Smith (2006). El relleno de los datos faltantes se realizó por el método de US National Weather Service (ASCE, 1996).

Modelo *CROPWAT*

CROPWAT 8.0, para *Windows* es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos con base en datos climáticos, fenológicos y edafológicos. Además, permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para distintos patrones de cultivos. Está basado en las metodologías descritas en los boletines 56, 33 y 24 de la serie Riego y Drenaje de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (Allen, Pereira, Raes & Smith, 2006; Doorenbos & Kassam, 1979; Doorenbos & Pruitt, 1977), y ha sido utilizado en banano por Cigales y Pérez (2011); Karanja (2006), y Stephen, Sammis y Wu (1985). En otros cultivos por George, Shende y Raghuwanshi (2000), y Molua y Lambi (2006). Este modelo estima la reducción del rendimiento por estrés hídrico y se expresa como un porcentaje de la producción máxima alcanzable en la zona en condiciones óptimas. Todas las versiones operan bajo el concepto de evapotranspiración de referencia calculada mediante el método de Penman-Monteith FAO y la versión ocho ofrece la posibilidad de ingresar el valor de evapotranspiración por los métodos recomendados en Allen *et al.* (2006).

Datos de suelo

La información edafológica de la zona norte del eje bananero requerida por el modelo *CROPWAT* para planificar el riego fue tomada del estudio semidetallado de suelos de áreas potencialmente agrícolas en la zona del Urabá (IGAC, 2007) y de la base de datos de suelos con la que cuenta este programa se eligió la textura franco-arcillosa como representativa de la zona, con excepción de Tapartó, que se tomó

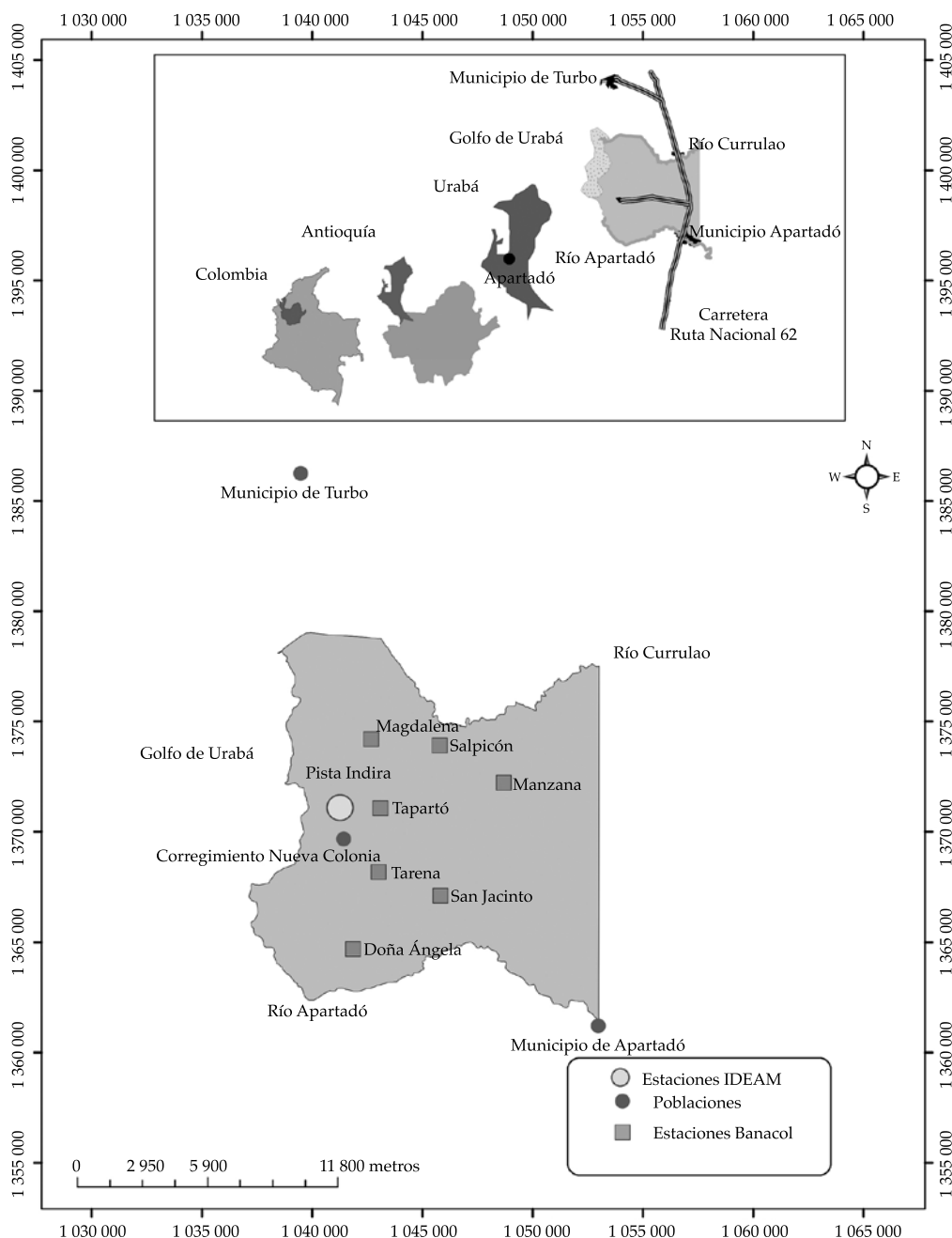


Figura 1. Ubicación de las estaciones y delimitación de la zona norte del eje bananero del Urabá Antioqueño.

como arcillo-limosa. La humedad disponible al momento de la siembra fue de 130 mm como representativa de la región y para Tapartó de 170 mm. Se consideró una profundidad máxima de enraizamiento del banano de 90 cm según Allen *et al.* (2006).

Cálculo de ETo

El cálculo se realizó con el método de Hargreaves, que se basa en las diferencias de temperaturas máximas y mínimas, propuesto por Hargreaves y Samani (1985), y ajustado al

método de Penman-Monteith (ecuaciones (1) y (2)):

$$EtoHS_{1985} = 0.0135 * (T_{med} + 17.78) * R_s \quad (1)$$

$$EtoPM = a + b * EtoHS_{1985} \quad (2)$$

$EtoHS_{1985}$ = evapotranspiración de referencia diaria calculada con Hargreaves y Samani (1985) (mm día⁻¹); $EtoPM$ = evapotranspiración de referencia diaria calculada con Penman-Monteith (mm día⁻¹); T_{media} = temperatura media (°C); R_s = radiación solar incidente (mm día⁻¹); a y b coeficientes propios de la regresión.

Precipitación efectiva (P_{ef})

Se calculó con el modelo *CROPWAT* con el criterio del Servicio de Conservación de Suelos (USDA) (Dastane, 1977; George et al., 2000; Molua & Lambi, 2006) con las siguientes expresiones:

$$P_{ef} = \frac{(125 - 0.2 * p) * p}{125} \quad \text{para } p \leq 250 \text{ mm} \quad (3)$$

$$P_{ef} = 0.1 * p + 125 \quad \text{para } p > 250 \text{ mm} \quad (4)$$

p = precipitación (mm)

Coefficientes de cultivo (K_c)

En el cuadro 1 están los valores generales del coeficiente de cultivo (K_c), datos fenológicos para el banano y factor de respuesta del rendimiento al suministro del agua (K_y). Esta información se tomó de la base de datos del *CROPWAT* a partir de Allen et al. (2006). Ya que

en la región no hay datos experimentales, éstos fueron constantes en las simulaciones realizadas.

Evapotranspiración del cultivo de banano

El cálculo se realizó con el *CROPWAT* mediante el método del coeficiente único de cultivo (K_c) (Allen et al., 2006), donde se integran los efectos combinados de la transpiración y la evaporación del suelo con la relación:

$$ET_c = Eto * K_c \quad (5)$$

Donde ET_c es la evapotranspiración real del cultivo (mm); Eto , evapotranspiración de referencia (mm), y K_c es el coeficiente de cultivo.

Predicción del rendimiento (ecuación de productividad)

La respuesta del rendimiento del cultivo a la deficiencia de agua es presentada por Doorenbos y Kassam (1979), en un modelo lineal basado en la teoría. Tiene en cuenta todos los demás factores de la producción en su nivel óptimo, y sólo el factor de escasez de agua (estimado como la relación entre la evapotranspiración real y la evapotranspiración máxima, ET/ET_m) es el que limita el rendimiento final (Ali, 2011); es decir, el porcentaje de la producción con respecto a la producción máxima en condiciones óptimas y el porcentaje de las necesidades hídricas insatisfechas en cuanto a las condiciones óptimas se calcula con referencia a una etapa única del ciclo o para toda la temporada del cultivo. Fue implementado por Steduto, Hsiao, Fereres y Raes (2012) en *AQUACROP* y también ha sido adoptado por Molua y Lambi (2006), y Ruíz,

Cuadro 1. Valores fisiológicos generales para el banano de la base de datos del *CROPWAT* y boletín 56.

Fase	Inicial	Desarrollo	Mediados de temporada	Final de temporada	Total
Coefficiente del cultivo (K_c)	1		1.2	1.1	
Duración de la fase (días)	60	60	75	45	240
Factor de respuesta del rendimiento (K_y)	1.35	1.35	1.35	1.35	1

Arteaga, Vázquez, López y Ontiveros (2011). El cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = Ky \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (6)$$

Y_a y Y_m son el rendimiento real cosechado y el máximo en kg ha^{-1} ; Ky , el factor de respuesta del efecto del suministro de agua sobre el rendimiento (adimensional, cuadro 1); ET_a y ET_m , evapotranspiración real y máxima (mm) cuando el suministro de agua satisface plenamente las necesidades del cultivo.

Fecha de siembra

IDEAM (2005) reporta que la estación seca (verano) finaliza con la entrada de lluvias a finales de marzo. Se obtuvo que en promedio, para las siete estaciones, el 6 de abril, las lluvias al 80% de probabilidad de excedencia llevan a capacidad de campo la humedad del suelo, denominada fecha de siembra óptima. Con la finalidad de evaluar los efectos de la reducción del rendimiento producidos por la estación seca se evaluó el primero de enero como fecha de siembra en verano.

Escenarios climáticos

Las simulaciones se realizaron en condiciones de secano y se utilizó lluvia al 20, 50 y 80% de probabilidad de excedencia para conocer el comportamiento del cultivo ante los impactos del cambio climático y sus requerimientos de agua, calculados como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva (Dastane, 1977; Molua & Lambi, 2006). Así, el nivel de probabilidad al 20% denota un escenario húmedo, al 50% un año normal y al 80% un año seco; este último podría presentarse en cuatro de cada cinco años (Doorenbos & Pruitt, 1977; Smith, 1992). La precipitación probabilística se determinó con la distribución normal (Infante & Zarate, 1990), porque se usaron totales mensuales y la región de estudio es una zona húmeda.

Resultados y discusión

Evapotranspiración de referencia (Et_0)

En la zona norte del eje bananero, la evapotranspiración de referencia está ligada a factores locales y su fluctuación anual (figura 2) presentó un aumento rápido de enero a febrero, donde

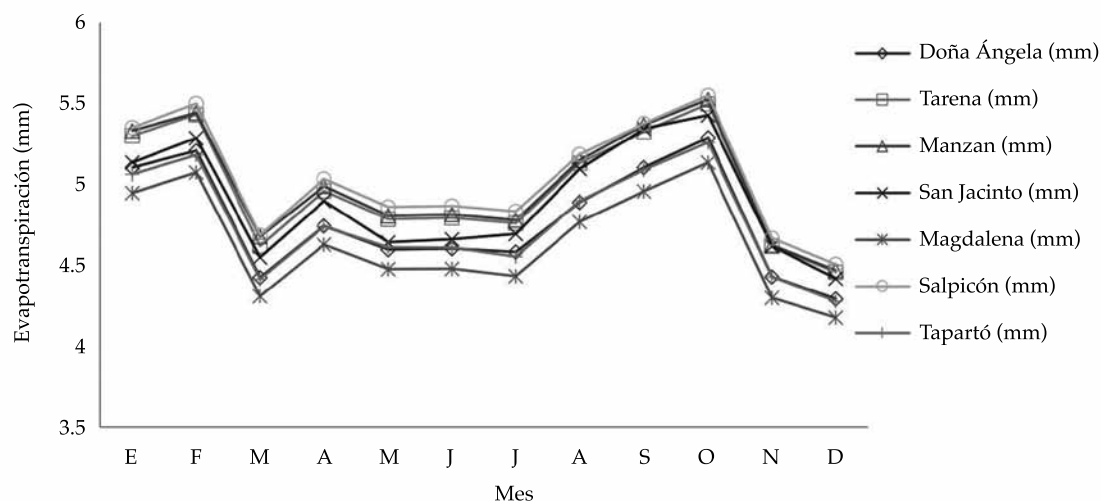


Figura 2. Evapotranspiración media mensual (mm día^{-1}) para las estaciones de la zona norte del Urabá.

alcanzó un primer pico de valores altos y después un descenso; se mantiene casi constante de abril a julio, producto de la entrada de las lluvias (humedad relativa alta); luego, el mayor pico empieza su ascenso en agosto hasta el mes de octubre, que presenta humedad relativa media y alta radiación. Asimismo, los valores menores son para diciembre. El valor mínimo de evapotranspiración se registra en la estación Magdalena y el máximo en la estación Salpicón. Estas dos estaciones son muy cercanas. El promedio para todas las estaciones es de 1 618 mm año⁻¹ acorde con lo reportado por IGAC (2007) y superior a lo encontrado por Guarín (2011).

En la figura 3a y b se puede evidenciar cómo la precipitación de enero, febrero y marzo no logran satisfacer las necesidades del cultivo.

Evapotranspiración del cultivo de banano

La evapotranspiración promedio mensual diaria tuvo valores de 5.3 a 5.8 mm día⁻¹. Se encuentra dentro del rango que Robinson (1996) reporta de 3 a 6 mm día⁻¹, y Montenegro, Gomes, De Miranda y Crisóstomo (2008) de 3 a 8 mm día⁻¹, superiores a los reportados por Basso *et al.* (2004) de 3.3 mm día⁻¹ en el tercer ciclo y por Carr (2009) en los trópicos de 4.3 mm día⁻¹. En la

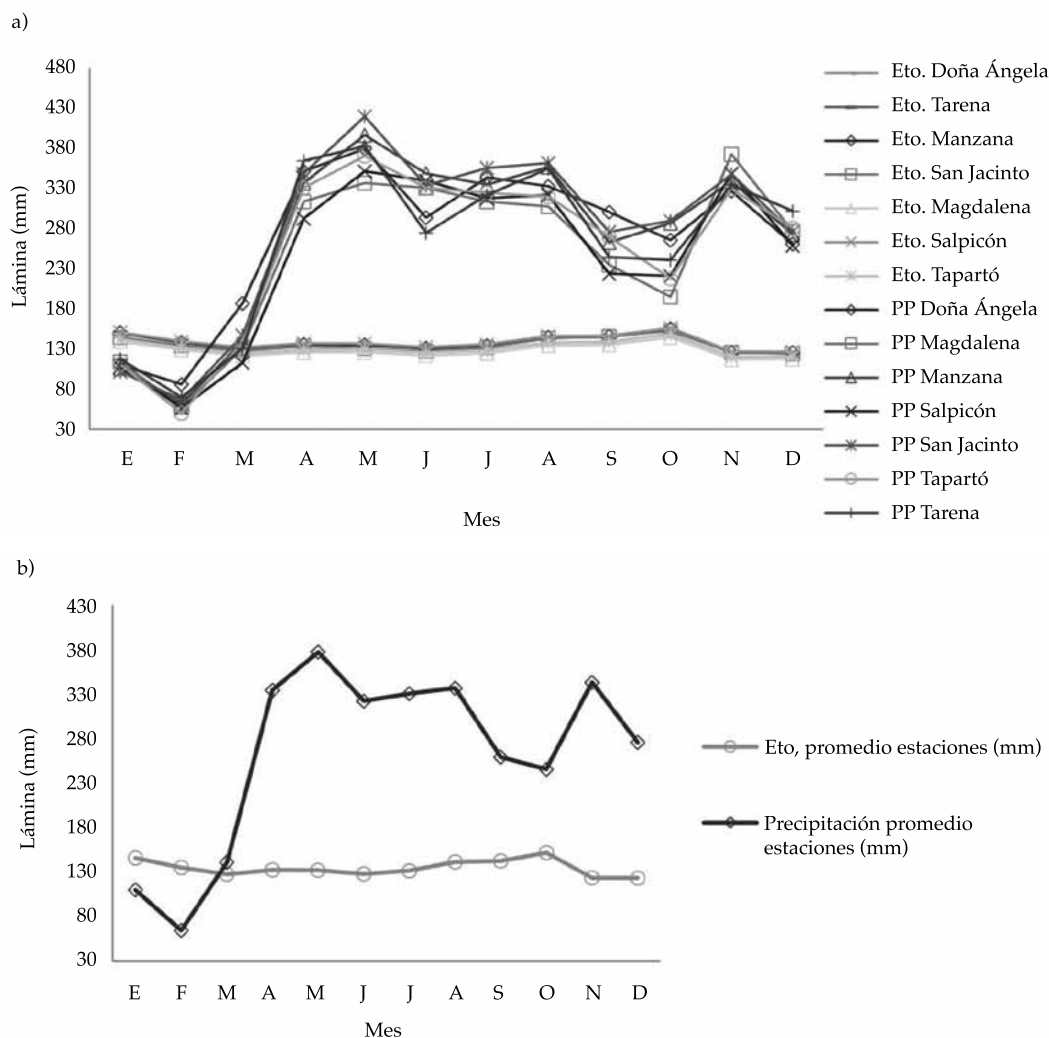


Figura 3. a) Evapotranspiración y precipitación media mensual para las siete estaciones; b) evapotranspiración y precipitación media mensual promedio para la zona norte del Urabá.

figura 4 se muestra el comportamiento anual de la evapotranspiración del cultivo de banano en la estación seca (verano) y la estación húmeda (temporada de lluvias). Durante el año, los valores mayores de la evapotranspiración para el cultivo se presentaron en Salpicón, seguidos de Manzana, Tarena, San Jacinto, Tapartó, Doña Ángela y por último Magdalena tanto para el cultivo sembrado en la estación seca (verano) como el cultivo sembrado a partir del 6 de abril (lluvias).

Los valores de evapotranspiración para el cultivo sembrado en la estación seca (verano)

oscilan entre 1 188 mm (Magdalena) y 1 294 mm (Salpicón). El sembrado a partir del seis abril presentó una evapotranspiración de cultivo comprendida entre 1 205 mm (Magdalena) y 1 305 (Salpicón), valores similares a los encontrados por Cigales y Pérez (2011), quienes reportan una evapotranspiración para el cultivo de banano de 1 047 mm año⁻¹. Robinson y Alberts (1989) obtienen estimaciones de las tasas de evapotranspiración de 1 200 a 2 690 mm año⁻¹, según las condiciones del clima, mientras que Marinato (1980) determina que el consumo anual del banano puede variar de 1 200 a 1 800 mm.

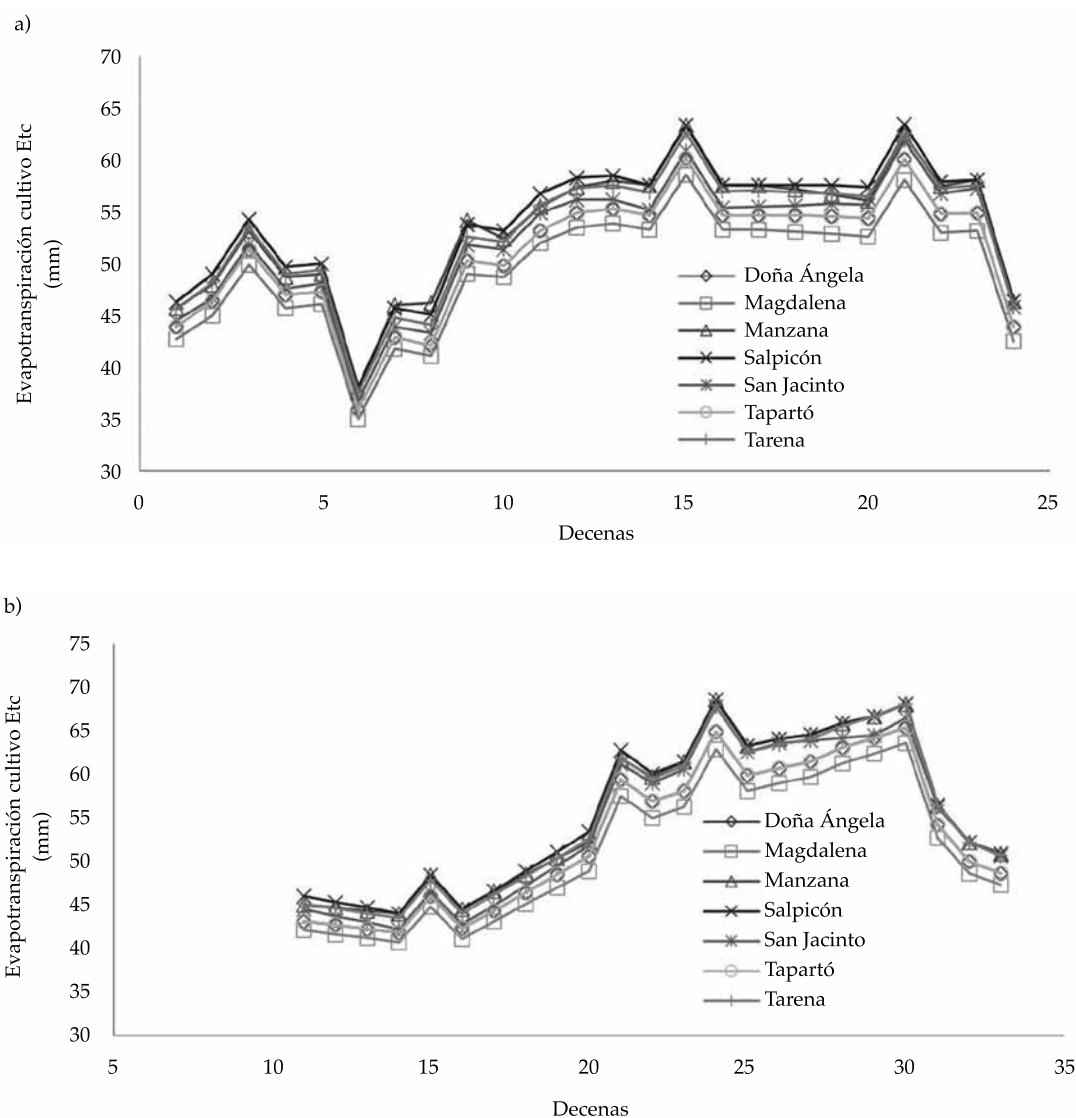


Figura 4. Evapotranspiración del cultivo sembrados: a) en la estación seca (verano); b) en la estación húmeda (6 de abril).

Precipitación efectiva (Pef)

En la figura 5 se presenta el comportamiento anual de precipitación efectiva para los escenarios húmedo, seco y normal, la cual varió en función de la cantidad de precipitación total registrada (Ruíz *et al.*, 2011) y para los tres escenarios. Las regiones que presentaron la mayor cantidad durante todo el año fueron San Jacinto, Doña Ángela y Tarena; y los más bajos se registraron en Tapartó, Salpicón y Magdalena. La menor dispersión entre los valores de *Pef* se presentó de abril a agosto para el escenario normal. Para los tres escenarios en febrero, todas las localidades tienen la precipitación efectiva menor y después el valor aumentó hasta su máximo, que para todas las estaciones es mayo, con excepción del escenario seco, que lo presentó en julio; en octubre disminuye nuevamente para los escenarios húmedos y normal; mientras que para el escenario seco disminuye para el mes de octubre en Magdalena y Tapartó, y para las demás en septiembre. En este mismo sentido, en la figura 5, principalmente Doña Ángela y Tarena en julio-junio pasan a tener menor oferta hídrica que las demás estaciones, a pesar de que en los demás meses se presentan con los valores más altos, situación que se manifiesta en todos los escenarios; la estación Magdalena en el escenario seco tiende a presentar una menor oferta hídrica en los meses de agosto y octubre con respecto a los demás escenarios; igualmente, Tarena para el periodo de febrero a marzo, en el escenario seco, tiene una oferta hídrica media con respecto a las demás estaciones, y en los demás escenarios presenta valores altos.

Requerimiento de riego

Para el escenario húmedo (20%), con siembra en la estación seca, se requirió riego durante todo el periodo, con excepción del comprendido entre la primera semana de abril (decena 10) y finales de mayo (decena 15), salvo Salpicón, que demandó riego durante todo el periodo del cultivo (figura 6a); asimismo, con la siembra en la esta-

ción húmeda (temporada de lluvia), se requirió en las siete estaciones desde mediados de julio (decena 20) hasta finales de septiembre (decena 27) y posteriormente en la primer semana de diciembre (decena 34) (figura 6 b); la mayor necesidad se presenta para Salpicón y la menor para Doña Ángela tanto en la estación seca (verano) como en la estación húmeda (temporada de lluvias). Para el escenario normal (50%), con fecha de siembra en la estación seca (verano), se necesita riego en todo el periodo, con excepción de mediados de abril (decena 11) para todas las estaciones; se excluye a Salpicón, que requiere riego toda la temporada; los valores más altos se presentan para Salpicón y los menores para San Jacinto y Doña Ángela (figura 7a); para la fecha de siembra en la temporada de lluvias en el escenario normal se requiere riego desde finales de julio (decena 21) hasta principios de noviembre (decena 31) y después a principios de diciembre (decena 34); los valores más altos se presentan para Salpicón y los más bajos para Doña Ángela (figura 7b). Para el escenario seco (80%), con siembra en la estación seca (verano), todas las estaciones necesitan riego en la temporada del cultivo; los valores más altos de requerimiento de riego los presentan Salpicón y Tarena, y los menores Magdalena y San Jacinto; en cambio, para las siembras realizadas en la época de lluvia se precisa riego desde finales de julio (decena 21), con excepción de Doña Ángela y Tarena, que requieren desde principio de junio (decena 16) y todas las estaciones necesitan riego hasta la primera semana de diciembre (decena 34); a pesar de que a mediados de noviembre las exigencias disminuyen, la menor la presenta Doña Ángela y la mayor Salpicón y Tarena. En general, para todos los escenarios, a partir de diciembre se requiere riego debido a la ubicación más al norte de la zona de Interconvergencia Tropical (ZICT); los valores son bajos para Doña Ángela, y los más altos para Salpicón, Magdalena y Tapartó.

En la figura 9 se puede ver que los requerimientos de riego son mayores para la estación seca (verano) que para la siembra realizada en

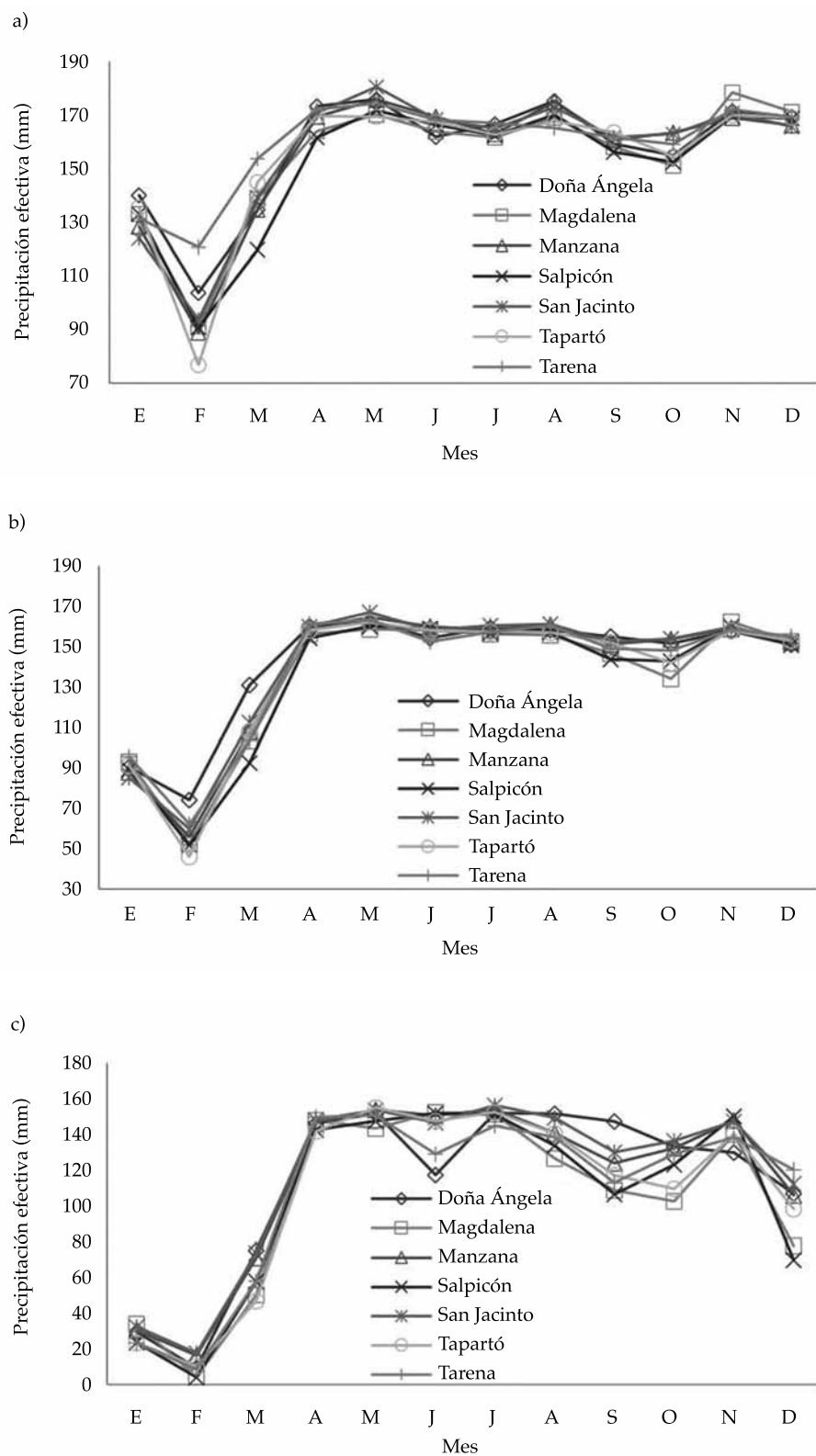


Figura 5. Precipitación efectiva (mm) anual para los escenarios: a) húmedo, b) normal c) seco.

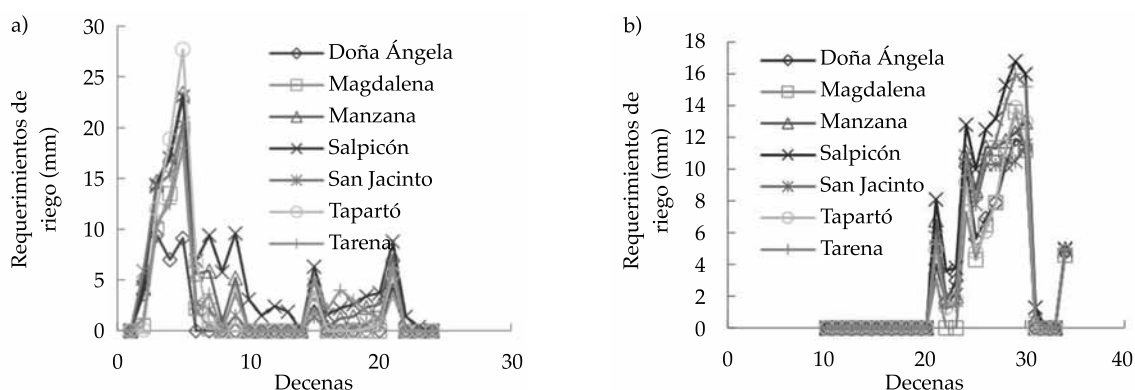


Figura 6. Requerimiento de riego para el escenario húmedo con siembras: a) en la estación seca; b) en la estación húmeda.

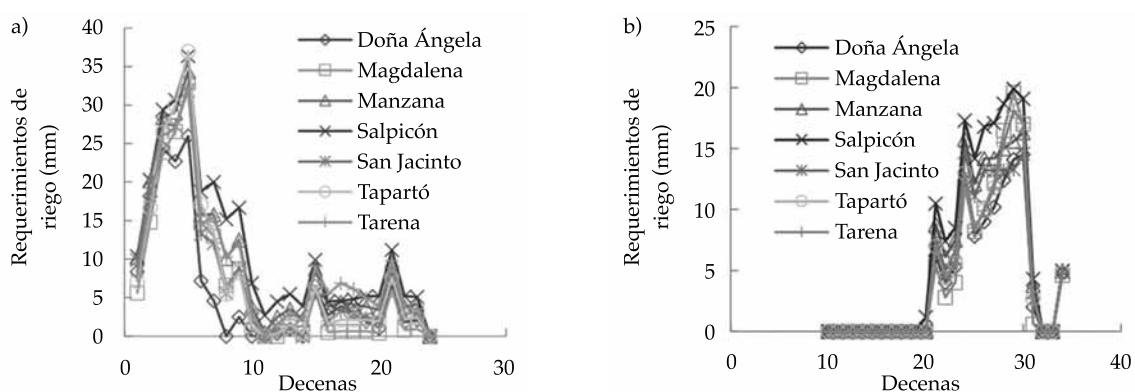


Figura 7. Requerimiento de riego para el escenario normal con siembras: a) en la estación seca; b) en la estación húmeda.

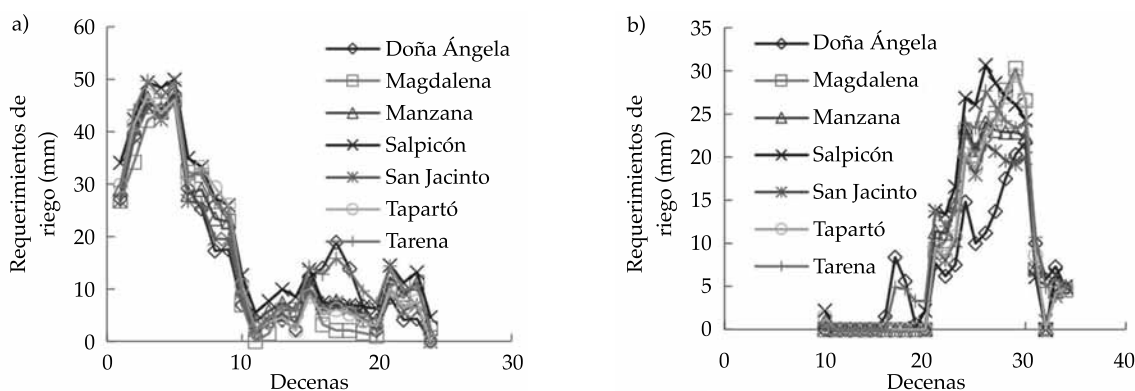


Figura 8. Requerimiento de riego para el escenario seco con siembras: a) en la estación seca; b) en la estación húmeda.

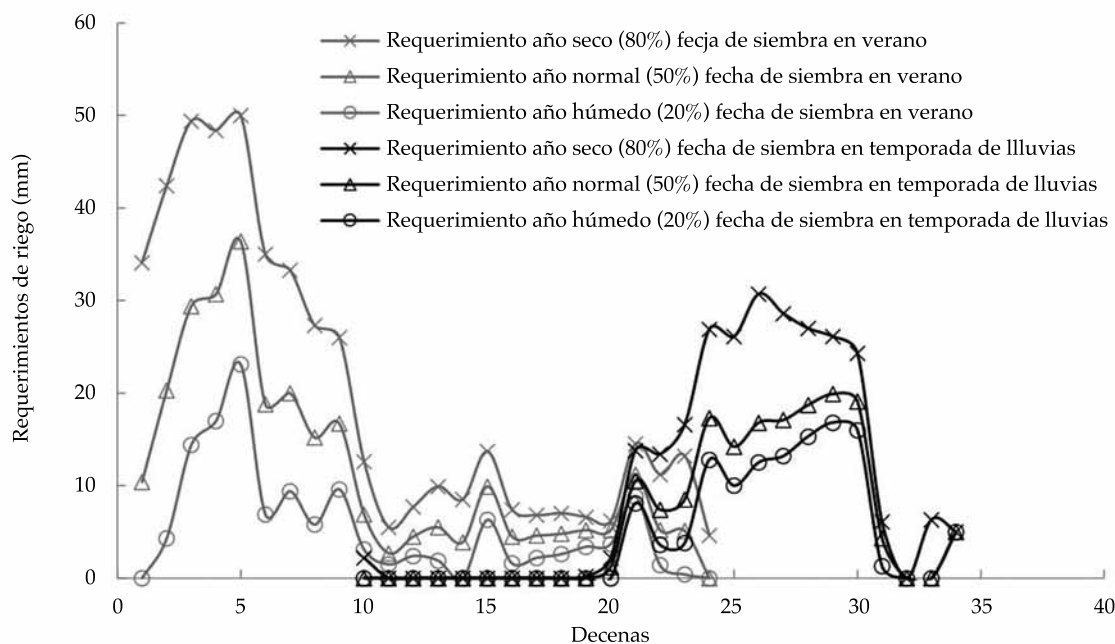


Figura 9. Requerimiento de riego escenarios: húmedo, normal y seco en la estación húmeda, y en la estación seca para la estación Salpicón.

la estación húmeda (temporada de lluvias) (6 de abril).

En la figura 10 se muestra la variación de los requerimientos de riego para los escenarios: seco (80%), normal (50%) y húmedo (20%). En todas las estaciones, el escenario seco presentó mayor demanda de riego que el escenario normal y se encontró que aún en el húmedo es necesario aplicar riego suplementario para satisfacer las necesidades y mantener el cultivo de banano en buenas condiciones hídricas. Cabe señalar que para el escenario húmedo, en promedio la zona presentó necesidades de riego de 89 mm año⁻¹ (siembra en estación húmeda) y 105 mm año⁻¹ (siembra en estación seca); para el escenario normal, demandas de 123 mm año⁻¹ (siembra en estación húmeda) y 216 mm año⁻¹ (siembra en estación seca), los cuales se encuentran dentro del rango reportado por IGAC (2007); en el escenario seco presentó un requerimiento de riego promedio de 217 mm año⁻¹ (siembra en estación húmeda) y 403 mm año⁻¹ (siembra en estación seca).

Reducción del rendimiento

En la figura 11, para el escenario normal (50%), las reducciones en las siete estaciones fueron superiores con la siembra en verano que en la estación húmeda (temporada de lluvias o fecha óptima); en la estación seca se presenta reducción con respecto al potencial de 15% en las estaciones Salpicón y Manzana; mientras que para el escenario seco (80%), tuvo rangos de 25 a 30% para la estación seca (verano), y en la estación húmeda (fecha óptima) se presenta un rango de reducción de 5 a 10%. Las estaciones ubicadas al sur son las más afectadas, los porcentajes de reducción se encuentran dentro del rango reportado por Martínez (2013), y oscilan entre 6.88 y 26.18%, en función de la fase y el nivel de afectación hídrica. Destaca que en todas las fases existió un nivel de déficit hídrico en relación con la demanda, que produjo una afectación de la productividad; de igual forma, los valores reportados para el porcentaje de reducción en la siembra óptima están dentro de los

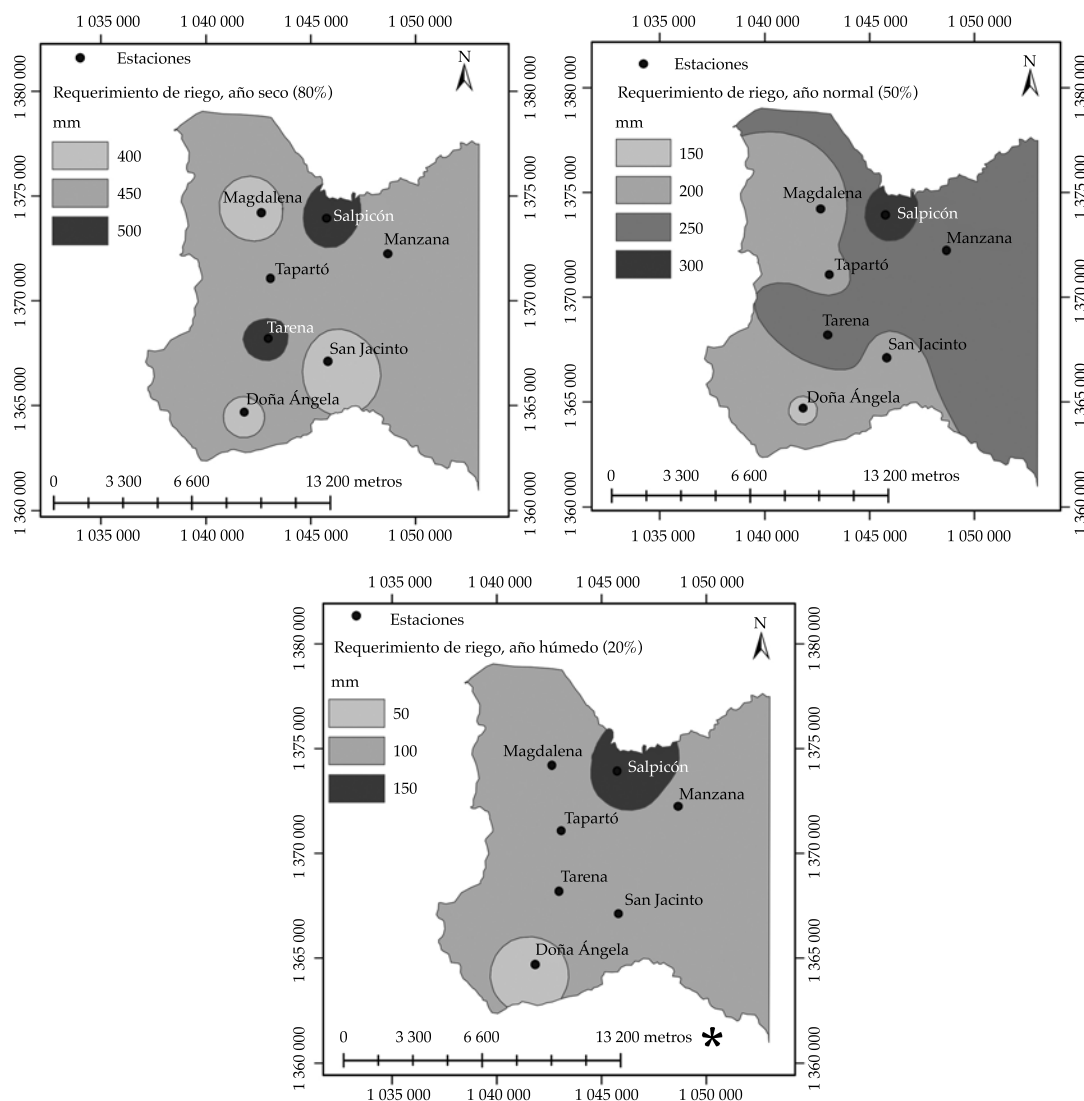


Figura 10. Requerimiento de riego para año seco (80%) normal (50%) y húmedo (20%), con siembra en la estación seca (verano). (Obtenidos con el *software* ArcGis versión 9.3, con el método interpolación IDW (ponderación de distancia inversa).

encontrados por Wairegi, Van Asten, Tenywa y Bekunda (2010), quienes identifican los factores más importantes que limitan la producción de banano en Uganda; con una reducción de 5% de producción principalmente por la escasez de la precipitación a pesar de presentar un promedio de 1 132 mm año⁻¹ inferior al utilizado en este estudio.

Cabe destacar que en el escenario húmedo para las siembras realizadas en la estación seca (verano) se presentan reducciones de 0.0 a 0.9%, para Salpicón, Manzana y Tarena, que son las mayores; mientras para la temporada de lluvias se presentan reducciones de 0.0 a 2%, en Manzana y Tarena, que son las mayores.

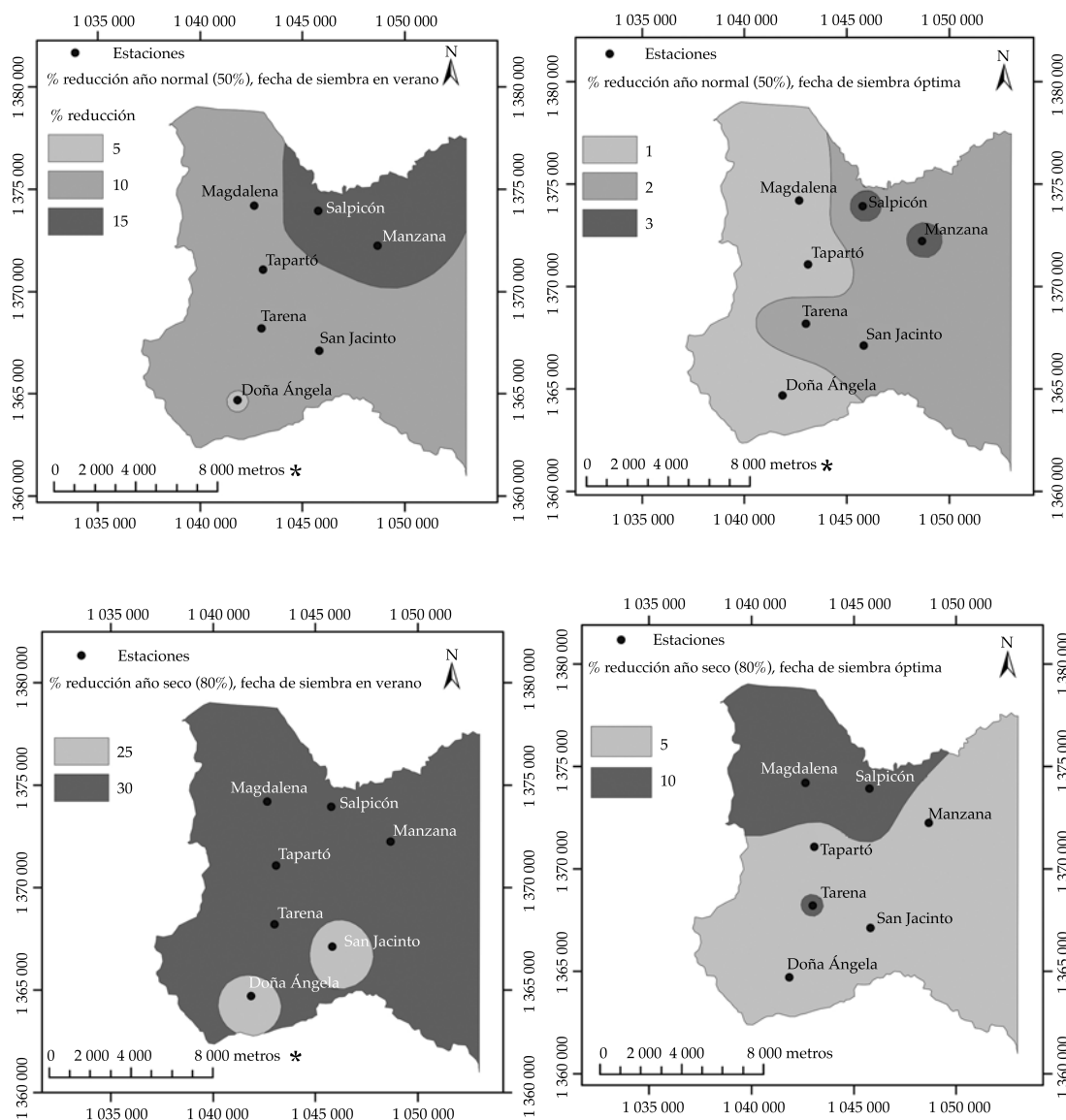


Figura 11. Reducción del rendimiento para el escenario seco (80%) y normal (50%) en condición de secano.

Se realizaron regresiones, una para el escenario normal y otra para el seco, entre el porcentaje de reducción del rendimiento y los requerimientos de riego en cada una de las estaciones, para obtener un modelo para la zona de estudio (figuras 12 y 13). Cai, Liu, Lei y Pereira (2007) recomiendan una $R^2 > 0.8$ para un buen ajuste del modelo y acorde al R^2 de 0.876

obtenido, la regresión encontrada representa la ecuación de productividad de la zona. Según Doorenbos y Kassam (1979), para el banano, los rendimientos (Y_m) varían de 40 a 60 t ha⁻¹ en buenas condiciones hídricas en el trópico, y al utilizar la ecuación entre el rendimiento y el requerimiento de riego (figura 12) para la época de siembra en la estación seca (verano),

se tiene que para un año normal de no suplirse las necesidades hídricas por cada 100 mm se puede reducir de 1.42 a 2.13 t ha⁻¹, menores a lo encontrado por Stephen *et al.* (1985), quienes observaron que la evapotranspiración (*Et*) insatisfecha en 100 mm resultó en una pérdida del rendimiento de 3.1 t ha⁻¹ para el cultivo después del segundo ciclo y una pérdida de rendimiento de 2.6 t ha⁻¹ para el primer ciclo. En la zona del Urabá, las condiciones de una finca bananera en general presenta una densidad de siembra de 1 600 plantas ha⁻¹ (Martínez & Cayón, 2011) y en el proceso poscosecha, la conversión de racimos a cajas se obtiene, en promedio, un desperdicio de 12% respecto al total de la producción; por razones comerciales y exigencias de calidad se presenta una relación (racimos/cajas) de uno y el peso de caja de 18.6 kg; con estos indicadores se tiene una producción de 33 t ha⁻¹, similar a la reportada por Augura (2013). Bajo las condiciones antes mencionadas y con la ecuación de la figura 12, en el escenario normal, por cada 100 mm que no se suplan, se obtiene una reducción de 3.56% de producción total, equivalente a 1.17 t ha⁻¹, lo que repercute en 0.65 kg de pérdida

en el peso en racimo, menor a lo encontrado por Goenaga, Irizarra, Coleman y Ortiz (1995), que por cada 100 mm de disminución del agua de riego resultó en una pérdida de peso en racimo de 2.5 a 2.7 kg, y a los encontrados por Van Asten, Fermont y Taulya (2011), que por cada 100 mm de precipitación ausente causa pérdidas de peso de 1.5 a 3.1 kg. Al aplicar las mismas condiciones e indicadores de una finca bananera a la ecuación de la figura 13 para el escenario seco presentó una pérdida de 4.31 t ha⁻¹, lo que repercute en la pérdida de peso del racimo en 2.41 kg por cada 100 mm y una reducción de producción de 13.07%, mayor a lo encontrado por Goenaga *et al.* (1995) y similar a los encontrados por Stephen *et al.* (1985) y Van Asten *et al.* (2011).

Conclusiones

Las condiciones climáticas en la región del Urabá se encuentran en los rangos adecuados para un óptimo desarrollo del banano. En el escenario húmedo presenta reducciones en el rendimiento menores al 2%; sin embargo, se

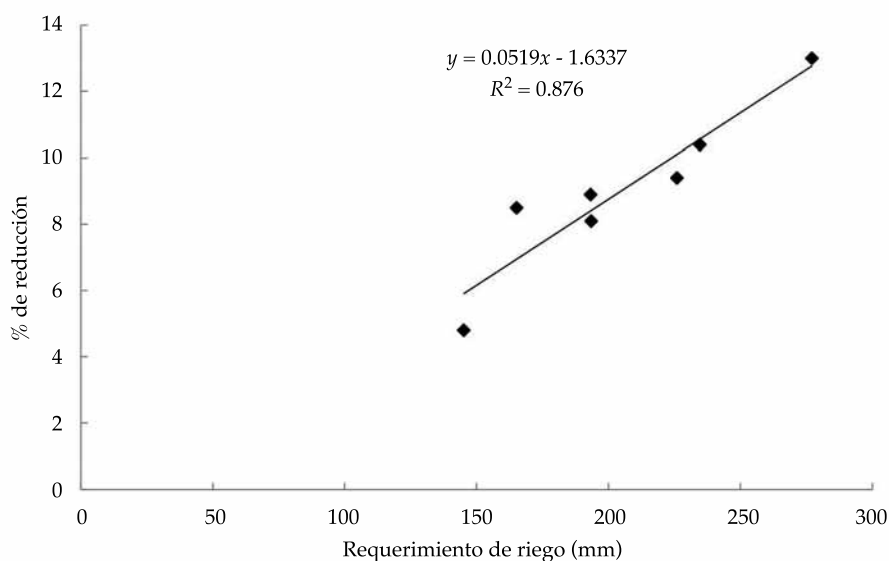


Figura 12. Relación entre el requerimiento de riego en escenario normal y porcentaje de reducción de producción con siembra en la estación seca (verano).

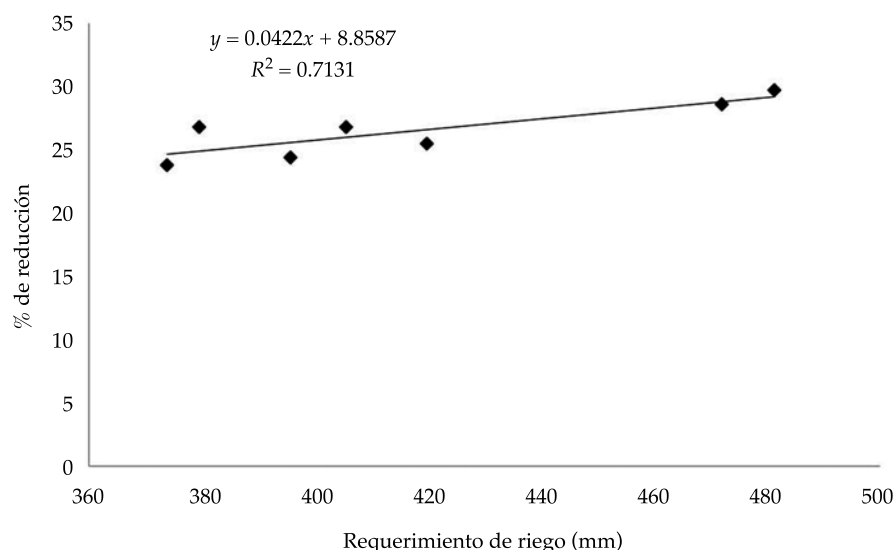


Figura 13. Relación entre el requerimiento de riego en escenario seco y porcentaje de reducción de producción con siembra en la estación seca (verano).

pueden presentar épocas de déficit de agua en los escenarios normal y seco, donde se hace necesario el uso de riego suplementario, lo que indica que la distribución y la cantidad de la precipitación no satisface la exigencia de la evapotranspiración del cultivo porque presenta reducciones en el rendimiento de 15 y 30%. En el futuro, las necesidades de riego aumentarán hasta en 50% debido a los escenarios simulados; es mayor para las siembras realizadas en enero que el 6 de abril (inicio de lluvias). El CROPWAT es una herramienta para identificar la cantidad de agua a regar, optimar los recursos hídricos y maximizar los rendimientos; asimismo, la ecuación de productividad da un conocimiento preciso del consumo de agua del cultivo y su respuesta al riego, para los beneficios y los riesgos inherentes a las decisiones de gestión de éste.

Referencias

- Agronet (2013). *Anuario estadístico del sector agropecuario 2012. Resultados. Evaluaciones Agropecuarias Municipales, Política Sectorial y Sistemas de Información* (294 pp.). Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Ali, M. H. (2011). Models in Irrigation and Water Management. *Practices of Irrigation & On-farm Water Management. Springer*, 2, 379-422, DOI: 10.1007/978-1-4419-7637-6.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (323 pp).
- ASCE (1996). *Hydrology Handbook* (769 pp). New York: American Society of Civil Engineers.
- Augura (2013). *Coyuntura bananera 2012*. Medellín: Asociación de Bananeros de Colombia. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de http://www.augura.com.co/index.php?Option=com_docman&task=cat_view&gid=27&Itemid=95.
- Bassoi, L. H., Teixeira, A. H. D. C., Lima-Filho, J. M. P., Silva, J. A. M. E., Silva, E. E. G. D., Ramos, C. M. C., & Sedyama, G. C. (2004). Guidelines for Irrigation Scheduling of Banana Crop in São Francisco Valley, Brazil. II - Water consumption, crop coefficient, and physiological behavior. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(3), 464-467. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452004000300022&script=sci_arttext.
- Cai, J., Liu, Y., Lei, T. & Pereira, L. S. (2007). Estimating Reference Evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith Equation Using Daily Weather Forecast Messages. *Agricultural and Forest Meteorology*, 145(1-2), 22-35, DOI: j.agrformet.2007.04.012.

- Carr, M. K. V. (2009). The Water Relations and Irrigation Requirements of Banana (*Musa spp.*). *Experimental Agriculture*, 45(3), 333-371, DOI: 10.1017/S001447970900787X.
- Cigales, M., & Pérez, O. (2011). Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15(3), 21-31. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83720034003>.
- Chopin, P., & Blazy, J.-M. (2013). Assessment of Regional Variability in Crop Yields with Spatial Autocorrelation: Banana Farms and Policy Implications in Martinique. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 181, 12-21, DOI: j.agee.2013.09.001.
- Dastane, N. G. (1977). *Precipitación efectiva en la agricultura de regadío* (68 pp.). Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. (1979). *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos* (212 pp.). Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. (1977). *Las necesidades de agua de los cultivos* (194 pp.). Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Eid, H. M., El-Marsafawy, S., & Ouda, S. A. (2006). Assessing the Impact of Climate on Crop Water Needs in Egypt: the CROPWAT Analysis of Three Districts in Egypt. *CEEPA Discussion Papers*, 29, 1-35. Citado el 20 de junio de 2013. Recuperado de <http://www.ceepa.co.za/uploads/files/CDP29.pdf>.
- Espinal, C. F., Martínez, C. H. J., & Acevedo, G. X. (2005). *La cadena del banano en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio de Agrocadenas Colombia. Citado el 20 de junio de 2015. Recuperado de http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112143835_caracterizacion_banano.pdf.
- Freitas, W. D. S., Ramos, M. M., & Costa, S. L. D. (2008). Demanda de irrigação da cultura da banana nabacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(4), 343-349. Citado el 20 de junio de 2013. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662008000400002.
- George, B., Shende, S., & Raghuvanshi, N. (2000). Development and Testing of an Irrigation Scheduling Model. *Agricultural Water Management*, 46(2), 121-136, DOI: 10.1016/S0378-3774(00)00083-4.
- Goenaga, R., Irizarra, H., Coleman, B., & Ortiz, E. D. T. (1995). Drip Irrigation Recommendations for Plantain and Banana Grown on the Semiarid Southern Coast of Porto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Porto Rico*, 79(1-2), 13-27. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de <http://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=299&content=PDF>.
- Guarín, G. W. G. (2011). *Impacto de la variabilidad climática en la producción de banano en el Urabá antioqueño* (145 pp). Tesis inédita de maestría. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Ambient air Temperature. *American Society of Agricultural Engineers (USA)*, 1(2), 96-99. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de http://www.zohrabsamani.com/papers/Hargreaves_Samani_85.pdf.
- IDEAM (2005). *Atlas climatológico de Colombia* (219 pp.). Bogotá: Grupo de investigación en Meteorología y Climatología. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019711/019711.htm>.
- IDEAM (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010* (409 pp.). Bogotá: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Red-Nacional-Laboratorios/Documentacin%20en%20Salud%20Ambiental/Estudio%20Nacional%20de%20Agua%20IDEAM,2010.pdf>.
- IGAC (2007). *Estudio semidetallado de suelos de las áreas potencialmente agrícolas. Urabá Departamento de Antioquia* (489 pp.). Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Infante, G. S., & Zarate, D. L. G. (1990). *Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario* (634 pp.). México, DF: Trillas.
- Karanja, F. (2006). *CROPWAT Model Analysis of Crop Water Use in Six Districts in Kenya*. Nairobi: Department of Meteorology, University of Nairobi (35pp). Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de <http://ceepa.stage.edunetwork.co.za/uploads/files/CDP35.pdf>.
- Machovina, B., & Feeley, K. J. (2013). Climate Change Driven Shifts in the Extent and Location of Areas Suitable for Export Banana Production. *Ecological Economics*, 95, 83-95, DOI: j.ecolecon.2013.08.004.
- Marinato, R. (1980). Irrigação da bananeira. Informe Agropecuário, 6(63), 42-45.
- Martínez, A. A. M., & Cayón, S. D. G. (2011). Dynamics of Growth and Development of Banana (*Musa AAA Simmonds cvs. Gran Enano and Valery*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 64(2), 6055-6064. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472011000200003.
- Martínez, V. R. (2013). Efecto del riego deficitario controlado en la productividad del banano. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2), 51-55. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93225718013>.
- Molua, E. L., & Lambi, C. M. (2006). Assessing the Impact of Climate on Crop Water Use and Crop Water Productivity: The CROPWAT Analysis of Three Districts in Cameroon (44 pp.).

- Buea, Cameroon: CEEPA. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de <http://www.ceepa.co.za/uploads/files/CDP37.pdf>.
- Montenegro, A. A. T., Gomes, A. R. M., De Miranda, F. R., & Crisóstomo, L. A. (2008). Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da bananeira para a região litorânea do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, 39(2), 203-208. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195317754003>.
- Quiceno, M. M. (2004). *Influencias de la precipitación y evaporación sobre la producción de banano en una hacienda del Urabá antioqueño: condiciones normales y El Niño* (19 pp.). Medellín: Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia.
- Robinson, J. C. (1996). *Bananas and Plantains* (238 pp.). Wallingford, UK: CAB International.
- Robinson, J. C., & Alberts, A. J. (1989). Seasonal Variations in the Crop Water-Use Coefficient of Banana (Cultivar William) in the Subtropics. *Scientia Horticulturae*, 40(3), 215-225, DOI: 10.1016/0304-4238(89)90114-3.
- Roldán, P. A. V. (2008). *Modelamiento del patrón de circulación de la bahía Colombia, Golfo Urabá. Implicaciones para el transporte de sedimentos* (113 pp.). Tesis inédita de maestría. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos.
- Ruíz, Á. O., Arteaga, R. R., Vázquez, P. M. A., López, L., & Ontiveros, C. R. E. (2011). Requerimiento de riego y predicción del rendimiento En gramíneas forrajeras mediante un modelo de simulación en Tabasco, México. *Agrociencia*, 45(7), 745-760. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30221115001>.
- Shen, Y., Li, S., Chen, Y., Qi, Y., & Zhang, S. (2013). Estimation of Regional Irrigation Water Requirement and Water Supply Risk in the Arid Region of Northwestern China 1989-2010. *Agricultural Water Management*, 128, 55-64, DOI: j.agwat.2013.06.014.
- Smith, M. (1992). *CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management* (122 pp.). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Crop Yield Response to Water* (503 pp.). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Stephen, C. H. Y., Sammis, T. W., & Wu, I. P. (1985). Banana Yield as Affected by Deficit Irrigation and Pattern of Lateral Layouts. *Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers*, 28(2), 507-510.
- Turner, D. W., Fortescue, J. A., & Thomas, D. S. (2007). Environmental Physiology of the Bananas (*Musa* spp.). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 463-484. Citado el 20 de junio de 2014. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1677-04202007000400013&script=sci_arttext.
- Van Asten, P. J. A., Fermont, A. M., & Taulya, G. (2011). Drought is a Major Yield Loss Factor for Rainfed East African Highland Banana. *Agricultural Water Management*, 98(4), 541-552, DOI: j.agwat.2010.10.005.
- Wairegi, L. W. I., Van Asten, P. J. A., Tenywa, M. M., & Bekunda, M. A. (2010). Abiotic Constraints Override Biotic Constraints in East African Highland Banana Systems. *Field Crops Research*, 117(1), 146-153, DOI: j.fcr.2010.02.010.

Dirección institucional de los autores

M.I. Ana María Toro-Trujillo

Universidad Autónoma Chapingo
Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua.
km 38 carretera México-Texcoco
56230 Estado de México, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9521 500
namariatoro@hotmail.com

Dr. Ramón Arteaga-Ramírez

Universidad Autónoma Chapingo
Departamento de Irrigación
km 38 carretera México-Texcoco
56230, Estado de México, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9521 500
arteagar@correo.chapingo.mx

Dr. Alberto Vázquez-Peña

Universidad Autónoma Chapingo
Departamento de Irrigación
km 38 carretera México-Texcoco
56230, Estado de México, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9521 500
mariovazquez@coahuila.com

Dra. L. Alicia Ibáñez-Castillo

Universidad Autónoma Chapingo
Departamento de Irrigación
km 38 carretera México-Texcoco
56230, Estado de México, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9521 500
libacas@gmail.com