

**DINÁMICA HÍDRICA DEL CACAO ((*Theobroma cacao* L.)**

E.I. LEIVA-ROJAS; L.SIGINDIOY R.RAMIREZ-PISCO

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (Colombia). Facultad de Ciencias Agrarias.

Correo: [eileiva@unal.edu.co](mailto:eileiva@unal.edu.co)

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (Colombia). Facultad de Ciencias

Correo: [r Ramirez@unal.edu](mailto:r Ramirez@unal.edu)

**RESUMEN**

El cacao requiere de permanente aporte hídrico para mantener sus procesos fisiológicos y asegurar la productividad del cultivo. La literatura presenta que el cacao es particularmente sensible a la carencia de humedad y se manifiesta con marchitez y en casos extremos secamiento y pérdida de hojas. Por lo general, los países que producen alto volúmenes de grano, la precipitación anual es de 1500 mm y se presenta un período seco de dos a tres meses. El objetivo de la investigación fue conocer la dinámica hídrica en la relación suelo-cacao como herramienta para la toma de decisiones en el manejo del agua de este cultivo bajo las condiciones de bosque húmedo tropical (bh-T) en la región de Urabá Colombia. Se evaluaron árboles de ocho años de edad, seleccionando la hoja número 4 completamente sana de una rama terminal para cuantificar temperatura, transpiración (E), déficit de presión de vapor (VPD) y radiación fotosintéticamente activa (PAR) con el medidor de intercambio gaseoso CIRAS-3 PP Systems. Además, se midió humedad volumétrica del suelo y evaporación con el método del microlisímetro, se registró precipitación, temperatura, evapotranspiración de referencia, humedad relativa y radiación. Los resultados evidenciaron que, en época seca correspondiente a febrero con balance hídrico negativo, el clon ICS-95 alcanza hasta  $3.23 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , mientras que el CCN-51 transpira hasta  $2.99 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . En la época lluviosa julio y septiembre ambos clones disminuyen la transpiración, el clon CCN-51 con valores entre 2.26 y  $2.37 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , y el ICS-95 presenta mayor transpiración y variabilidad entre 2.52 y  $3.65 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Con respecto a la evaporación se encontró que en el periodo seco se evaporo una lámina de 6.88 mm y en la época lluviosa 1.32 mm

Palabras clave: requerimiento hídrico, transpiración, evaporación, humedad del suelo.

**INTRODUCCIÓN**

La precipitación para satisfacer las necesidades del cultivo de cacao oscila entre 1500 a 2500 mm al año (Amores et al, 2009), con lluvias bien distribuidas a lo largo del año (Fedecacao, 2009). Las regiones con un período seco prolongado por la estacionalidad de las lluvias, requieren de suplemento hídrico con riego, así como también los suelos arenosos (Motato, et al 2008), aunque el cultivo requiere suelos drenados y de estructura granular se adapta bien a diversos tipos de suelo (Ramírez-Pisco, 2016). Sin suficiente agua en el suelo la planta se beneficia con alta humedad relativa, circunstancia que restringe la transpiración foliar, Arévalo, et al (2004) mencionan que humedad relativa superior al 70% favorece el establecimiento del cultivo y superiores al 85% estimulan la presencia de enfermedades (Suárez, 2007).

En aspectos de ecofisiología poco se sabe acerca de las estrategias de tolerancia a la sequía y adaptación de los árboles de cacao, ya que la mayoría de los estudios se han centrado en las plantas de semillero (Almeida y Valle 2007). Sin embargo, no está claro si los resultados son extrapolables a los árboles adultos en el campo. Aunque Rada et al., (2005) y Vespa (2008) mencionan que el cacao es una especie susceptible al estrés hídrico provocado tanto por el déficit o como por el exceso.

## 2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR)

Lima, Peru, 13-17 November 2017

La insuficiencia de agua en el suelo y en la planta, detiene los procesos para crecimiento y afecta la producción (Balasimha, 1999), con déficit hídrico se aumenta su ritmo de respiración para mantener el metabolismo, en esta circunstancia el cultivo sobrevive pero la productividad pierde significado como actividad agrícola y económica (Amores, et al 2009).

Las propiedades físicas del suelo, densidad aparente (DA), densidad real (DR), conductividad hidráulica (CH), coeficiente de expansión lineal (COEL), textura, estructura y resistencia a la penetración (RP), son las encargadas de permitir la dinámica del agua, del aire y de los nutrientes, ya que influyen directamente en el desarrollo radical de los cultivos y demás organismos habitantes del suelo (Rodríguez et al., 2000; Schoenholtz et al., 2000 Dexter, 2004).

El requerimiento de agua se define como la cantidad de este recurso que necesitan los cultivos para formar biomasa y satisfacer la tasa de evapotranspiración, de tal modo que puedan crecer y efectuar sus procesos fisiológicos. La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos mediante los cuales el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por transpiración de los cultivos (Allen et al., 2006).

En las diferentes zonas productoras de cacao en el mundo, no se reporta información sobre el consumo total de agua del cultivo y las propiedades físicas de los suelos asociadas a la dinámica hídrica. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue cuantificar la dinámica hídrica en la relación suelo-cacao como herramienta para la toma de decisiones en el manejo del agua de este cultivo bajo las condiciones de bosque húmedo tropical (bh-T).

### METODOLOGÍA

#### Localización

La presente investigación se desarrolló bajo las condiciones de bosque húmedo tropical (bh-T), en el municipio de Chigorodó-Antioquia, que se encuentra a 40 msnm, con temperaturas que oscilan entre 21.3 y 34.6 °C, humedad relativa promedio de 84.2 % y precipitación anual entre 2800 a 3300 mm..

#### Material vegetal

Las mediciones se tomaron en árboles de ocho años de los clones universales CCN-51 y ICS-95. Durante el periodo de evaluación se realizaron cuatro evaluaciones, la primera en febrero (M1) correspondiente a época seca con balance hídrico negativo, la segunda, tercera y cuarta, en los meses junio, julio y septiembre (M2) correspondiente a época lluviosa del año 2016.

#### Muestreo y mediciones

En cada muestreo se eligieron árboles de cacao al azar seleccionando la hoja número 4 completamente sana de una rama terminal, para realizar mediciones de temperatura de la hoja, transpiración (E), déficit de presión de vapor (VPD) y asimilación (A) con el equipo PP Systems CIRAS-3. Al mismo tiempo se midió humedad volumétrica del suelo con el equipo Soil Moisture Kit DELTA-T-Devices y evaporación del suelo con el método del micro-lisímetro (Ramírez, 2012).

#### Suelo

Se realizó caracterización física del suelo, con metodología del IGAC (2006): textura por método de Bouyoucos (1962), densidad aparente con terrón parafinado, densidad real con pectapicnómetro, retención de humedad con ollas de Richard, conductividad hidráulica con Carga constante (Darcy, 1856).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN****Requerimientos de agua por el cultivo**

Para conocer la dinámica hídrica en la relación agua-suelo-cacao-clima, es necesario utilizar los parámetros que representan cada uno de los componentes de esta, en la relación agua-suelo, el parámetro representativo es la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) Tabla 1., la necesidad de agua del cacao, se representa con el parámetro Kc. Y las salidas del sistema determinadas por el clima, corresponden a la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). La relación entre ET<sub>o</sub> y Kc, define la demanda hídrica del cultivo de cacao. El modelo que representa la relación agua- suelo- cacao-clima se deriva de la ecuación que define el balance hídrico (Castro, 2005; Torres et al., 2004).

Los resultados muestran que, en bh-T, la LARA para el cultivo de cacao varía de acuerdo a la época. En los meses con déficit hídrico el valor del LARA es 38 mm y en el periodo de balance hídrico positivo el LARA es de 36 mm (Tabla 1).

**Tabla 1.** Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) para el suelo cultivado con cacao en bh-T.

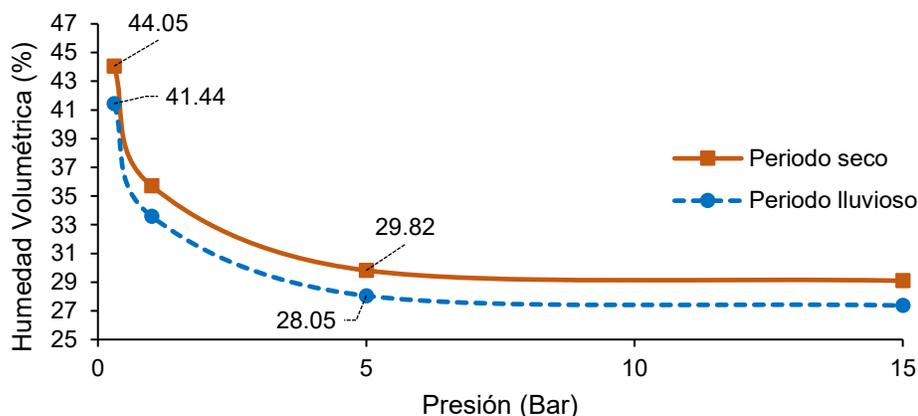
Profundidad (cm)	Textura	Periodo	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	Capacidad de campo (%)	Requerimiento de riego (%)	LAA (mm)	LARA (mm)
0-30	FAr*	Seco	1,35	32,6**	22,1**	43	38
		Lluvioso	1,27	32,6	22,1	40	36

\*A: arenosa; Ar: arcillosa; F: franca; L: limosa.

\*\*Valores promedios para Cc y Rr con 4 muestras de suelo.

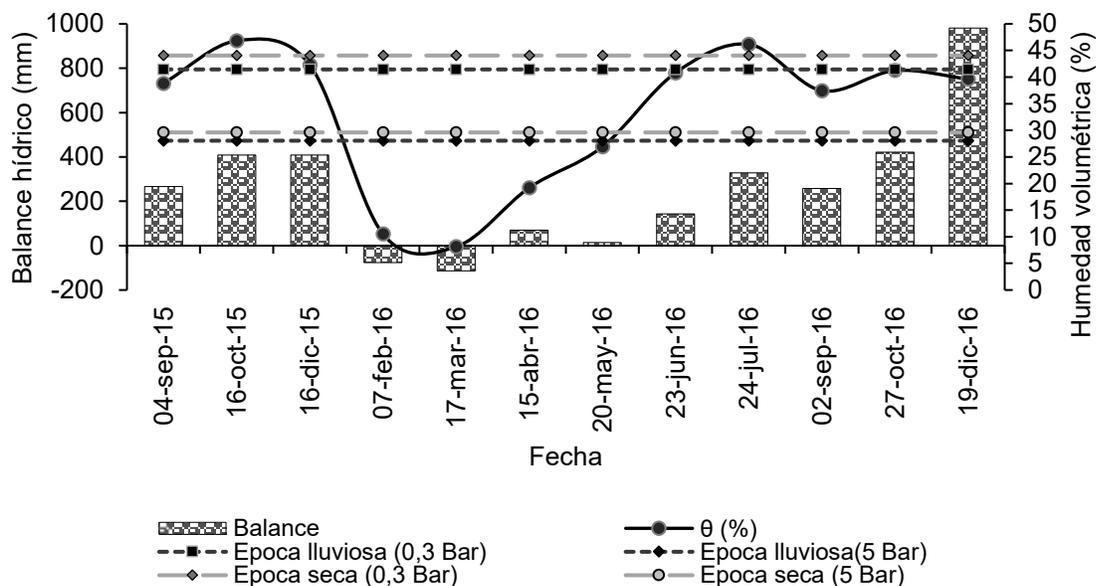
La curva de retención de humedad del suelo (Figura 1) permite inferir que con un potencial mátrico de -0.3 Bar en periodo seco, la máxima capacidad de almacenamiento de agua es de 43.7% y con un potencial mátrico de -5 Bar la humedad mínima que retiene es de 29.6%, antes de alcanzar este estado, es necesario aplicar riego para no afectar el desarrollo y la producción del cultivo. En época lluviosa el agua aprovechable (AA) del suelo para el cultivo de cacao es de 13.35%.

**Figura 1.** Curva de retención de humedad para el suelo cultivado con cacao en bh-T.



En la zona de estudio se presentó un régimen de precipitación unimodal con un periodo de balance hídrico positivo entre abril y diciembre y balance hídrico negativo entre enero y marzo. Los meses con mayor disponibilidad de agua para el año 2016 fue diciembre, julio, y octubre con valores de 980, 421 y 328 mm.mes<sup>-1</sup>, respectivamente. Durante la temporada seca el déficit hídrico acumulado fue de 190 mm, siendo marzo el mes más seco con un déficit de 114 mm.mes<sup>-1</sup> (Figura 2).

**Figura 2.** Relación entre potencial mátrico, contenido de humedad y balance hídrico del agua en el suelo, bajo la producción de cacao en bh-T.



**Dinámica diaria de la Transpiración (E) Asimilación de CO<sub>2</sub> (A) y la temperatura de la hoja los clones CCN-51 e ICS-95 en bh-T.**

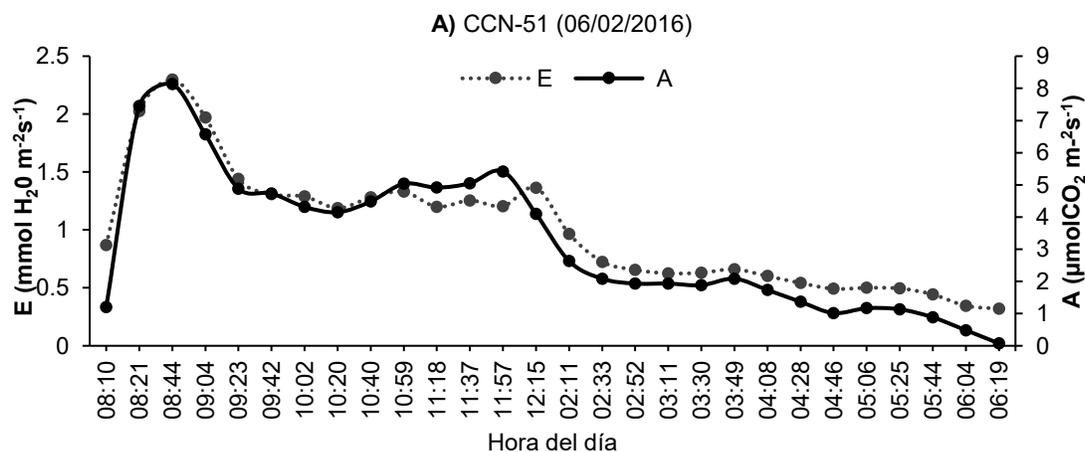
El clon CCN-51 a lo largo del día registró tasas de transpiración y asimilación de CO<sub>2</sub> similares (Figura 3.A). Los valores de la máxima E y A (entre 1.97-2.3 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y 6.57- 8.13 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) fueron obtenidos en la mañana (8:21-9:04 AM). En la tarde (12:00-6:00 h) las tasas de E y A son bajas con valores

entre 0.32-1.36  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y 0.08-4.10  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente por la disminución de la PAR (Figura 3 B).

Los valores máximos de PAR ocurrieron entre las 8:44-10:40, alcanzando valores entre 925 y 1319  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . La PAR superior a 400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  favorece la tasa de E y A hasta alcanzar el máximo E:2.3  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y A:8.13  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , con PAR superior a 1000 se genera disminución en la E y A (figura 3.A-B).

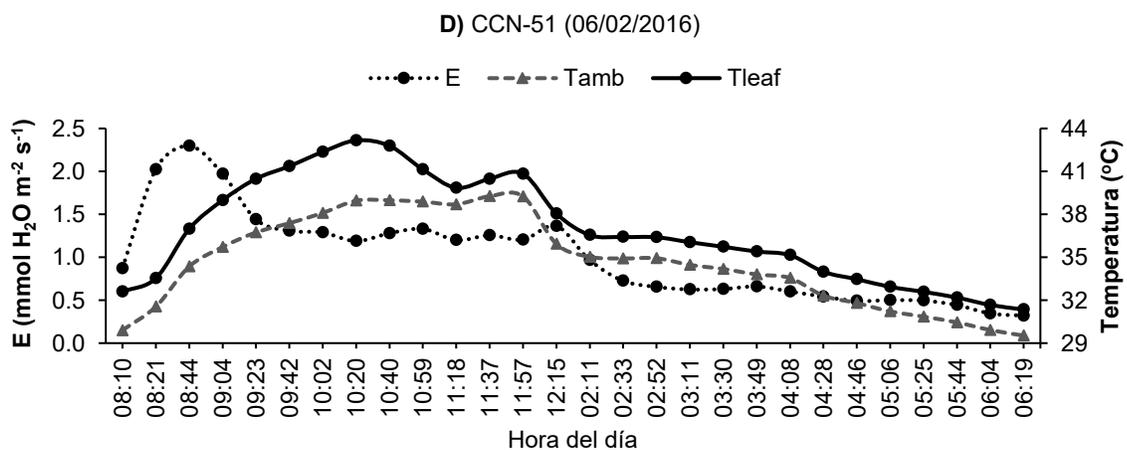
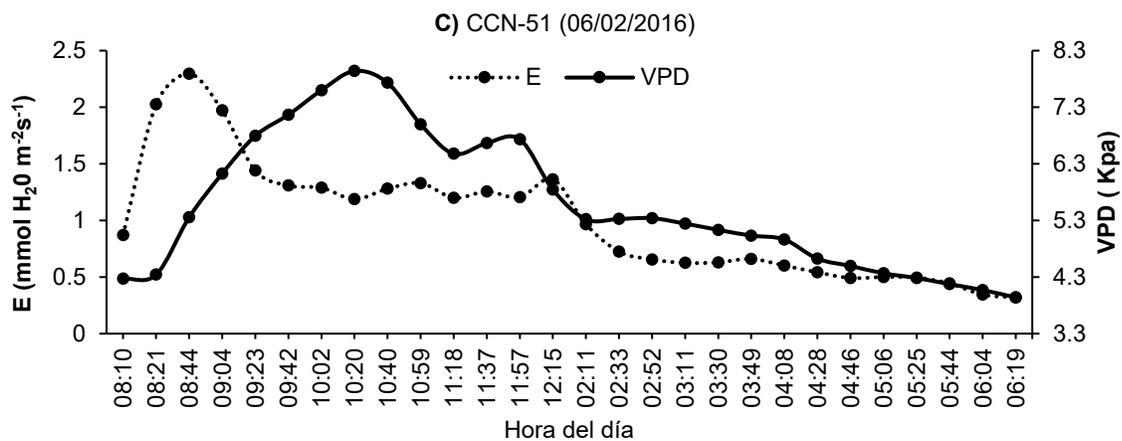
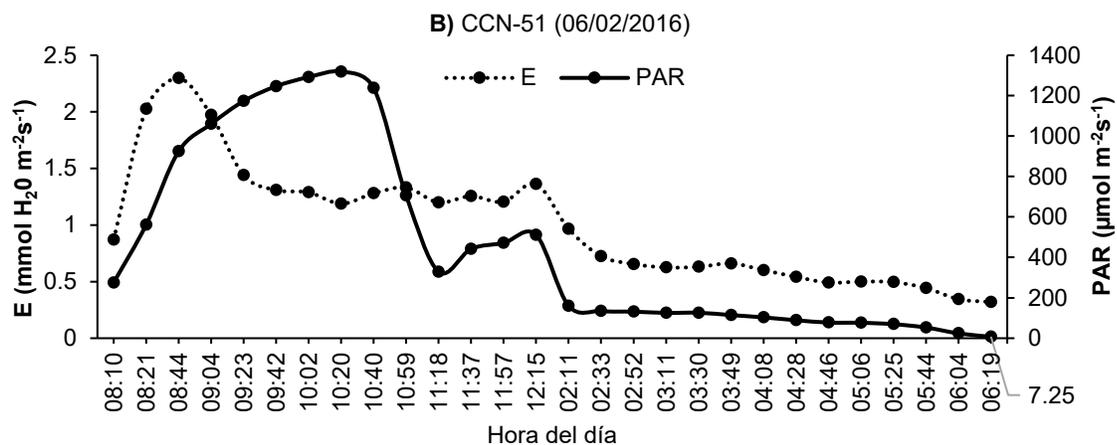
El VPD y la temperatura de la hoja (Tleaf) presentaron un comportamiento similar a lo largo del día (figura 3.C-D). En horas de la mañana (8:44-12:00 h) aumentos en el VPD de 5.36 a 7.94 Kpa disminuyen las tasas de E y A (figura 3. A-D). La Tleaf vario entre 37° a 43.2°C, declinándose gradualmente hasta llegar a 31.4°C en horas de la tarde. La máxima de VPD (7.94 Kpa) fue obtenido a la 10:20 am, este valor coincide con los máximos de PAR y Tleaf (figura 3. B, C, D). A partir de 8:21 am, la humedad relativa disminuyo hasta alcanzar 11.3%, la Tleaf se incrementó simultáneo a la PAR que ocasionaron bajas tasas de E y A (1.19  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y 4.15  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente). Entre las 10:21-6:00 h, la temperatura disminuyó a la vez que aumentaba la RH y se mantuvo constante la tasa de E (figura 3.E,A). La evaporación está influenciada en mayor proporción por la radiación consecuentemente por la temperatura del ambiente y de la hoja.

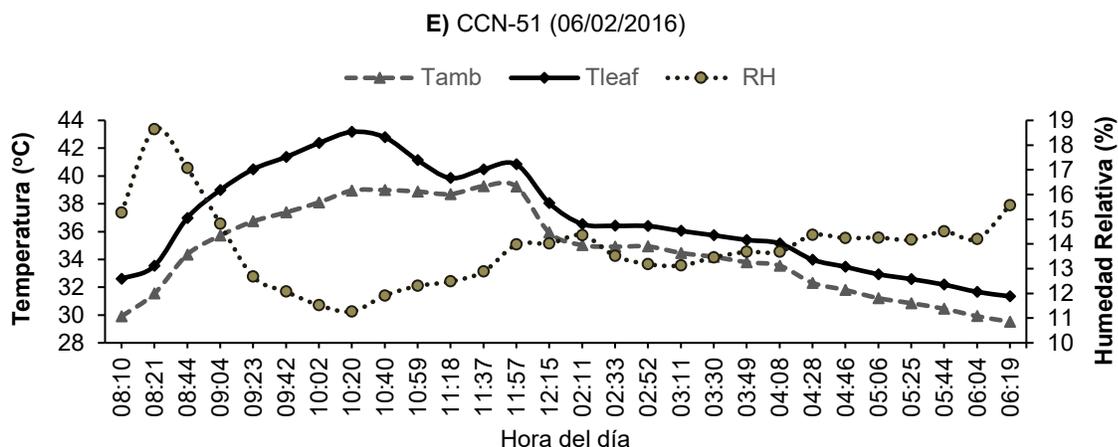
**Figura 3.** Comportamiento diurno de la transpiración (E) y la asimilación de  $\text{CO}_2$  (A) (A), la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (B), el déficit de presión de vapor (VPD) (C), la temperatura de la hoja (Tleaf) y el ambiente (Tamb) (D) con la humedad relativa (RH) (E), en el clon CCN-51 bajo las condiciones de déficit hídrico en bh-T. Cada valor representa promedio de seis lecturas cada tres minutos. Medidas tomadas con luz natural en árboles de ocho años de edad.



2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR)

Lima, Peru, 13-17 November 2017





El clon ICS-95 la transpiración (E) y la asimilación de  $\text{CO}_2$  durante la mañana se incrementaron (figura 4.A). Los valores máximos de E se dieron entre las 9:32 a 9:42 am  $3.06$  y  $3.05 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente.

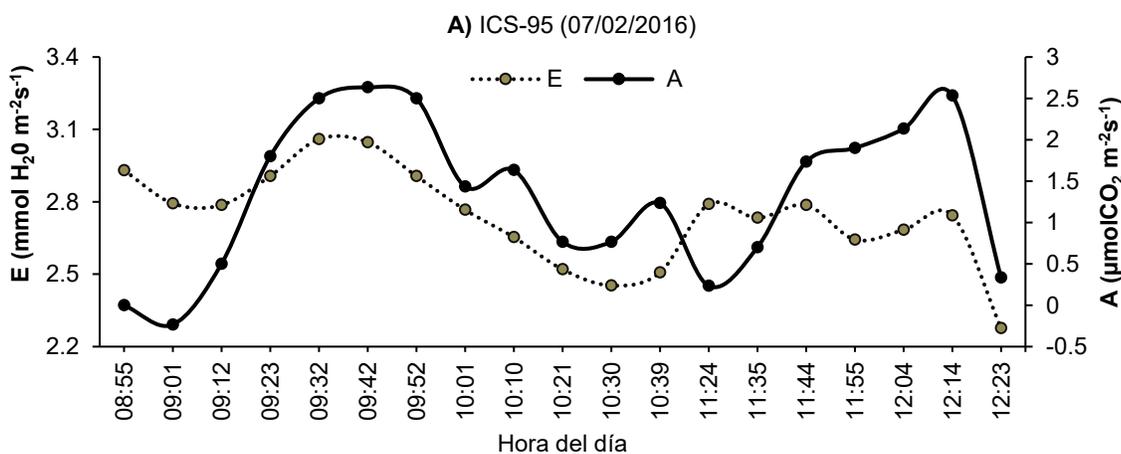
En ese mismo lapso se alcanzaron las máximas tasas de A con valores entre  $2.5$  a  $2.63 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

El aumento de temperatura en la hoja a partir de las 10 am, se inicia el descenso de la transpiración E. El valor mínimo de A se da a las 11:24 am ( $0.23 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), y a partir de esta hora los valores de A aumentan progresivamente hasta 12:14 pm. En la tarde (12:14-12:23 pm) las tasas de E y A disminuyen.

Con la PAR variable en la mañana, se ocasionaron cambios en las tasas de E y A. Las máximas radiaciones ocurrieron entre las 11:24 am y 12:14 m (con valores entre  $349$  y  $420 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) figura 4B. La VPD y la Tleaf tuvieron un comportamiento similar durante la mañana (figura 4C-D). Entre las 9:32 y 10:30 am el aumento en el VPD genera disminución en las tasas de E.

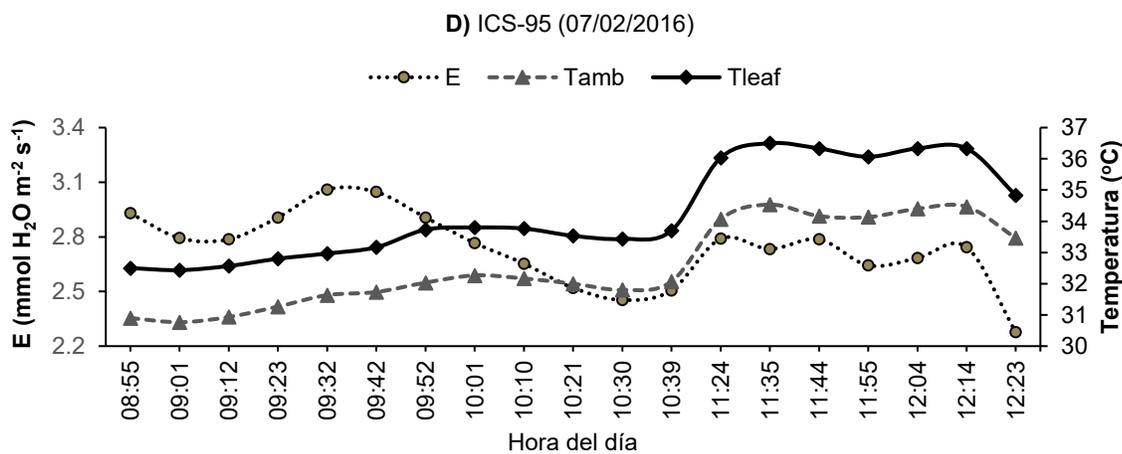
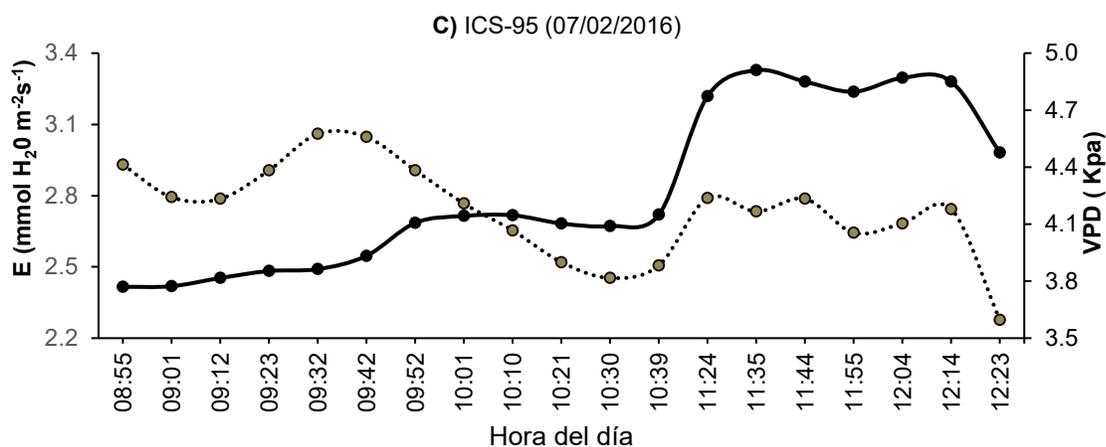
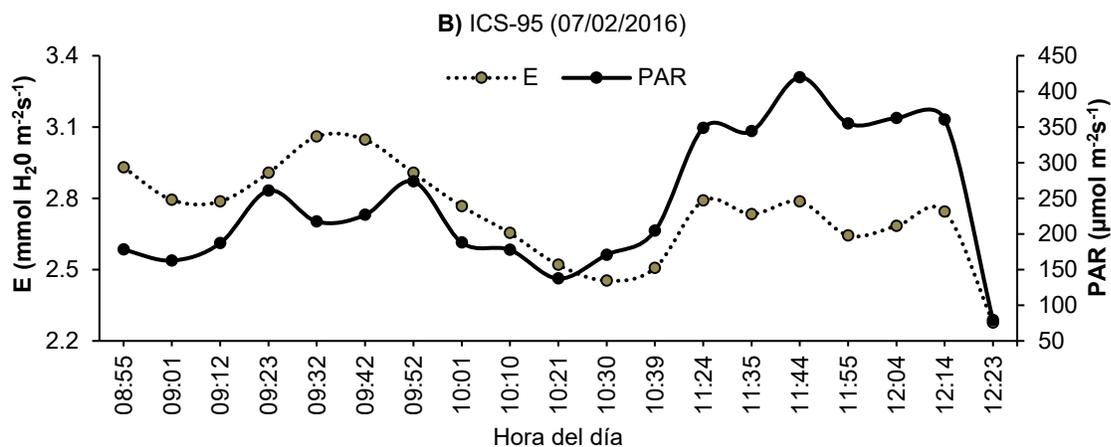
A partir de 10:31 am el VPD aumentó coincidiendo con las máximas Tleaf, que afectaron la E.(figura 13.C-D.)

**Figura 4.** Comportamiento diurno de la transpiración (E) y la asimilación de  $\text{CO}_2$  (A) (A), la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (B) la temperatura de la hoja (Tleaf) y el ambiente (Tamb) (D) con la humedad relativa (RH) (E), en el clon ICS-95 bajo las condiciones de déficit hídrico en bh-T. Cada valor representa promedio de tres lecturas cada tres minutos. Medidas tomadas con luz natural en árboles de ocho años de edad.

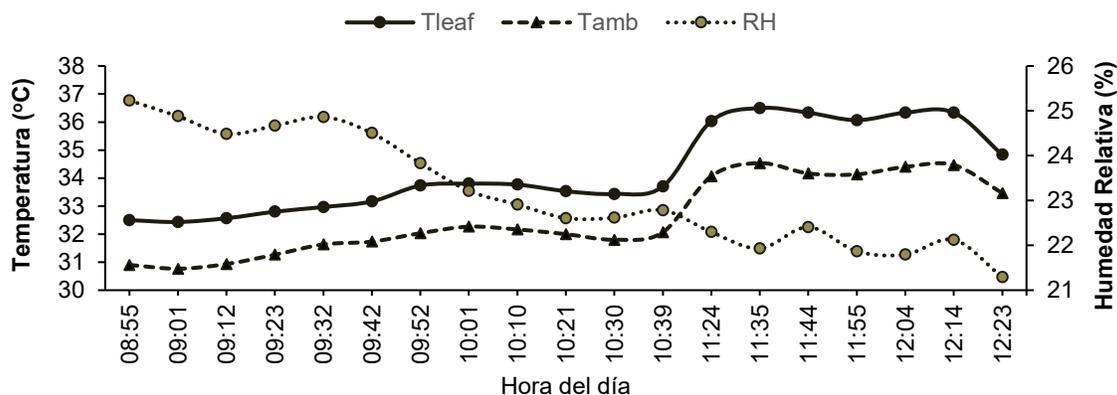


2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR)

Lima, Peru, 13-17 November 2017



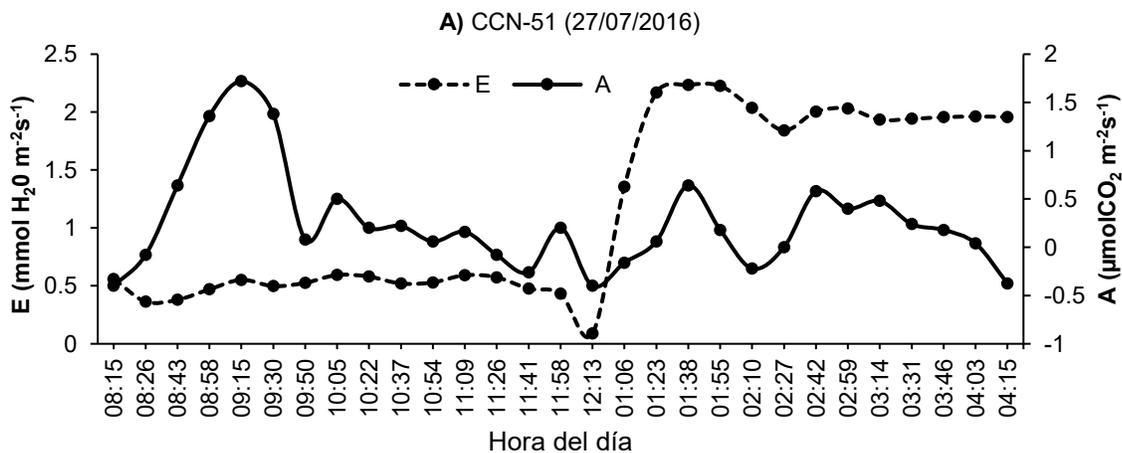
E) ICS-95 (07/02/2016)

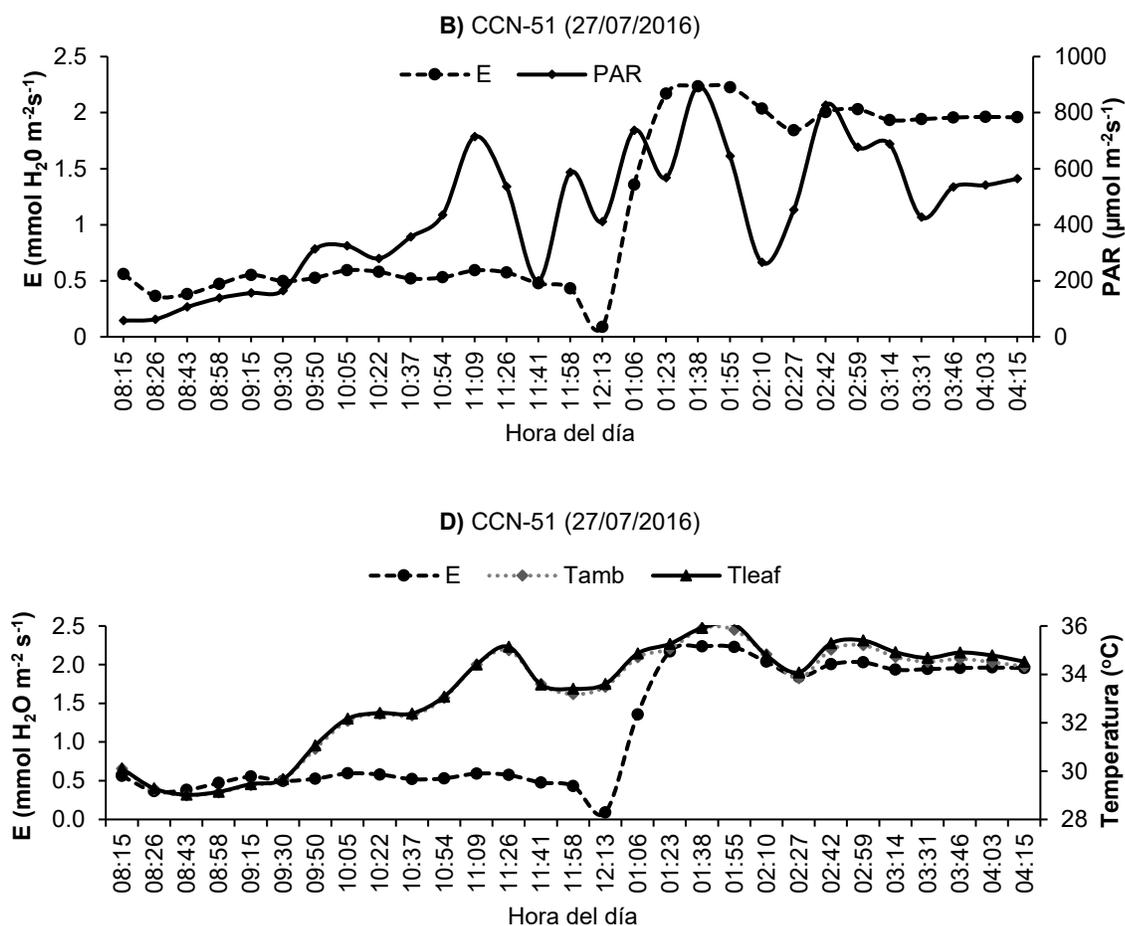


La humedad del suelo, fue en promedio de 12.3% en el sitio del CCN 51 y de 17.5% en el lugar del ICS 95. Valores que se encuentran por debajo del potencial mátrico en el cual hay disponibilidad de agua para cacao (Figura 2) lo que evidencia que hay un déficit hídrico de 33.3 mm para el clon CCN-51 y 31.3 mm para el clon ICS-95 en el suelo.

La transpiración (E) y asimilación (A) en el clon CCN 51 tomados en julio, ya iniciado el período de lluvias, con balance hídrico positivo y humedad en el suelo en promedio de 45%, E registró tasas bajas pero hubo Asimilación y mayor fijación de CO<sub>2</sub> en la mañana (Figura 4 A, B,) El incremento de la temperatura y la PAR en la tarde generó pequeño incremento en la A y la E. (Figura A, D,). Las tasas de A y de E en época de lluvias presentar menor cantidad que las de época seca..

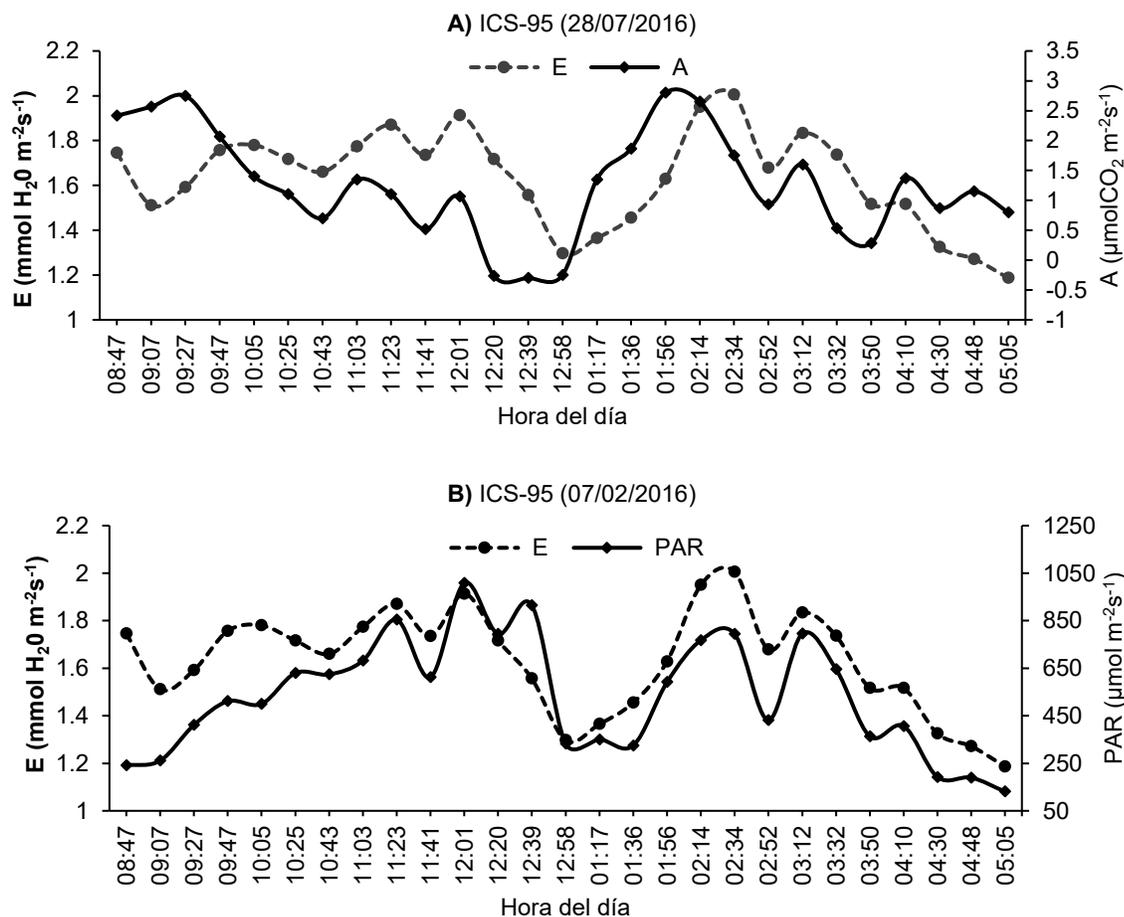
**Figura 4.** Comportamiento diurno de la transpiración (E) con la asimilación de CO<sub>2</sub> (A) (A); la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (B), el déficit de presión de vapor (VPD) (C), la temperatura de la hoja (Tleaf) y el ambiente (Tamb) (D), en el clon CCN-51 bajo las condiciones de balance hídrico positivo (julio 27) en bh-T. Cada valor representa promedio de cinco lecturas cada tres minutos. Medidas tomadas con luz natural en árboles de ocho años de edad.





En condiciones de alta humedad en el suelo, aunque se reciba la misma radiación PAR, los clones ICS 95 y CCN 51 responden poco al estímulo lumínico la A y la E son afectadas, siendo estos los factores determinantes de los procesos. Al incrementar la PAR, en la tarde, el clon ICS 95 (Figura 5 B) que responde a bajas radiaciones, eleva un poco su A y proporcionalmente la E. (Figura 5 Ay B).

**Figura 5.** Comportamiento diurno de la transpiración (E) con la asimilación de  $\text{CO}_2$  (A) (A); la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (B), la temperatura de la hoja (Tleaf) y el ambiente (Tamb) (D), en el clon ICS-95 bajo las condiciones de balance hídrico positivo (julio 28) en bh-T. Cada valor representa promedio de seis lecturas cada tres minutos. Medidas tomadas con luz natural en árboles de ocho años de edad.



### Conclusiones

La información meteorológica oportuna y las características físicas del suelo son la información relevante para calcular el balance hídrico, que permite obtener el agua aprovechable para el cacao, con potencial mátrico entre 0.03 y 0.5 MPa..

La información del régimen pluvial para cacao requiere establecer la cantidad, distribución e intensidad de la lluvia para la toma de decisiones es aspectos hídricos. En esta zona bh-T, con bajas precipitaciones en el primer trimestre y teniendo en cuenta el potencial mátrico del suelo es necesario aplicar riego, para evitar el déficit de agua en el cultivo.

La transpiración del cacao se ve limitada por la reducción del aire en el suelo, debido al alto contenido de humedad.

### Bibliografía

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Food and Agriculture Organization (FAO). Bol. No 56, Roma. 323 p.

## 2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR)

Lima, Peru, 13-17 November 2017

Almeida, Alex-Alan F. de, & Valle, Raúl R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4): 425-448. <https://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>

Amores, F.M., Palacios, A., Jimenez, J. Zhang, D. 2009. Entorno ambiental, genética, atributos de calidad del cacao en nor-oriente en la provincia de Esmeraldas. MAGAP Ed. Quevedo -Ecuador.

Balasimha, D. 1999. Stress physiology of cocoa. *Journal of plantation Crops* 27:1-8.

Espinal CF; Martínez HJ; Ortiz L (2005) “La cadena del cacao en Colombia: Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005”. Documento de trabajo No. 92. MADR. Observatorio de Agrocadenas Colombia.

Fedecacao – Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (2015) Guía técnica para el cultivo del cacao. 6ta edición. Bogotá, Colombia. 180 p.

Gamboa A. M. 2010. Efecto de las condiciones hídricas del suelo sobre el intercambio gaseoso y el crecimiento en plantas de *Theobroma cacao*. Trabajo especial de grado. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogotá, Colombia. 102 p.

Jaimez, R. E., Tezara, W., Coronel, I. L. S. A., & Urich, R. 2008. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 52(2):253-258.

Rada, F., R. Jaimez, C. Garcia-Nuñez, A. Azocar y M. Ramírez. 2005. Water relations in *Theobroma cacao* var. Guasare under periods of water deficits. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 22(2): 112-120.

Romero, J & J. Proaño. 2008. Evaluación del efecto del riego por goteo y microaspersión en la productividad del cacao- (*Theobroma cacao*)-CCN 51 en un suelo Ustifluent típico en la zona Chongon – Península de Santa Elena provincia del Guayas. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad Agraria del Ecuador. 14 p.

Schoenholtz, S.H.; Vam Miegroet, H.; Burger, J.A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 138: 335-356.

Vespa, AM. 2008. Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* L. (var. Porcelana) sobre tipos diferentes de suelos. Trabajo especial de grado. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 116 p.

Torres, A., Cruz, V., & Villegas, T. (2004). Avances técnicos para la programación y manejo del riego en caña de azúcar. *Serie Técnica No 33 -Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia-CENICAÑA (Colombia)*.