



Artículo

Uso de dendrómetros para la programación de riego en cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en la Estación Experimental de Sapecho

Use of dendrometers for irrigation programming in cocoa cultivation (*Theobroma cacao*) at the Experimental Station of Sapecho

Hector Chino Zelada, René Chipana Rivera, Carlos Eduardo Choque Tarqui

RESUMEN:

El manejo del recurso hídrico es muy importante para la producción y rentabilidad de los cultivos. Sin embargo, la creciente escasez de agua hace necesario implementar una programación de riego bajo sistemas de riego eficientes para optimizar la eficacia en el uso del agua. El objetivo se centró en desarrollar las bases necesarias para programar el riego del cacao (*Theobroma cacao*) utilizando exclusivamente medidas de la máxima contracción diaria del tronco (MCD), que se realizó en la Estación Experimental de Sapecho, provincia Sud Yungas del departamento de La Paz, con un diseño de bloques completamente al azar, con tratamientos de T1 = 100% de riego y T2 = 50 % de riego más un Testigo (T0), los resultados indicaron que la MCD es un indicador sensible para diagnosticar cambios en el estado hídrico del cacao, en este sentido se pudieron obtenerse ecuaciones de referencia para la MCD respecto de las variables climáticas de temperatura máxima y media. Se pudo comprobar que la aplicación de riego tuvo efecto en la producción de frutos que tuvo un incremento en rendimiento con la aplicación de los diferentes tratamientos siendo que el T1 presentó mejores resultados con 852,47 kg/ha, seguido del T2 con 652,67 kg/ha a diferencia del testigo T0 que presentó 205,93 kg/ha

PALABRAS CLAVE:

Programación de riego, cultivo de cacao, riego.

ABSTRACT:

The management of water resources is very important for the production and profitability of crops. However, the growing scarcity of water makes it necessary to implement irrigation scheduling under efficient irrigation systems to optimize water use efficiency. The objective was focused on developing the necessary bases to program the irrigation of cocoa (*Theobroma cacao*) exclusively using measurements of the maximum daily contraction of the trunk (MCD), which was carried out at the Sapecho Experimental Station, Sud Yungas province of the department of La Paz, with a completely randomized block design, with treatments of T1 = 100% irrigation and T2 = 50% irrigation plus a Witness (T0), the results indicated that the MCD is a sensitive indicator to diagnose changes in the state cocoa water, in this sense it was possible to obtain reference equations for the MCD with respect to the climatic variables of maximum and average temperature. It was possible to verify that the application of irrigation had an effect on the production of fruits that had an increase in yield with the application of the different treatments, being that T1 presented better results with 852.47 kg/ha, followed by T2 with 652.67 kg/ha unlike the control T0 that presented 205.93 kg/ha.

KEYWORDS:

Irrigation scheduling, cocoa cultivation, irrigation.

AUTORES:

Hector Chino Zelada: Investigador Pregrado, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. chineseandino@gmail.com

René Chipana Rivera: Docente Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. renechipana@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0001-8676-2660>

Carlos Eduardo Choque Tarqui: Docente Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. eduard.charly@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4825-5283>

DOI: <https://doi.org/10.53287/gxmc9615go69h>

Recibido: 19/10/2022. Aprobado: 26/11/2022.



INTRODUCCIÓN

La agricultura representa aproximadamente el 70% de las extracciones totales de agua dulce a nivel mundial, y los sectores industriales y doméstico representan el 20% y el 10% restante (WWDR, 2014); al ser el riego una alternativa para incrementar la producción de alimentos para una población en constante crecimiento.

Bolivia no se encuentra al margen de esta realidad, el riego es una actividad de alto consumo de agua (86%, más de 2.000 millones de m³año⁻¹) (PRONAR, 2005), más importante incluso que los usos-urbanos e industriales (14%), no obstante, en la campaña agrícola 2009-2010 solo se regaron 303.201 ha (invierno y verano), siendo el 11% de la superficie total cultivada (MMAyA - VRHR, 2013). El riego en Bolivia constituye una necesidad sentida por la siguiente razón “La importancia de contar con un instrumento estratégico que ordene y dinamice el desarrollo del riego, para mejorar la eficiencia, la eficacia y la equidad de las inversiones, en armonía con el uso sostenible de los recursos naturales”.

Desde hace algunos años se han estudiado parámetros basados en mediciones de estrés hídrico en la planta, asociados a mecanismos fisiológicos; entre éstas se puede mencionar la variación del diámetro de tronco con dendrómetros, del potencial hídrico xilemático y la temperatura de la canopia. La variación del diámetro de los troncos ha mostrado ser sensible a variaciones en la disponibilidad de agua en el suelo, incluso en condiciones de estrés hídrico moderado (Moriani y Fereres, 2002).

El cultivo de cacao es considerado como hidro-periódico. La precipitación es el factor ambiental que más influye en la producción de este cultivo en condiciones de campo, siendo la periodicidad de las lluvias el principal factor climático que induce la apertura de brotes vegetativos y estimula la floración (García y Patricia, 2015). Este trabajo contempla el estudio de indicadores fisiológicos del estado hídrico de la planta, que puedan ser utilizados como criterio para definir momento oportuno de riego. El objetivo del presente trabajo es determinar las líneas de referencia para la programación de riego a partir de dendrómetros en cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en la Estación Experimental de Sapecho.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en la región de Alto Beni en los predios de la Estación Experimental Sapecho, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. Ubicado a 270 km de la ciudad de La Paz, geográficamente se localiza entre los paralelos 15°33' y 15°46' Latitud sur y 66°57' y 67°20' Longitud Oeste. La EES se halla ubicada en la cuarta sección municipal de la Provincia Sud Yungas, municipio Palos Blancos, a una altitud de 450 msnm, temperatura media de 26 °C y una precipitación media de 1800 mm año⁻¹ (Maldonado, 2017).

Metodología

Material vegetal

Se evaluaron 27 ejemplares de Cacao clon All-84 que cuentan de 4 años de edad, y se encuentran concentrados en la parcela N° 3, de la Estación Experimental Sapecho.

Material para programación de riego

Dendrómetros (AEC), pluviómetros cilíndricos caseros de tamaño uniforme ($\varnothing = 0,12,5$ m; h = 0,20 m).

Evaluación de propiedades hidro – físicas del suelo

A través de la apertura de una calicata de 1,0 x 1,0 x 1,0 (m), se realizó la toma de muestras. El análisis físico de suelos fue realizado en el Laboratorio de Manejo y Conservación de Suelo (Fac. Agronomía – UMSA), de los siguientes parámetros: textura, determinada mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos (García et al., 2008), para la muestra obtenida hasta 0,40 m del perfil del suelo; densidad aparente (Da), determinada mediante el método de probeta (Gabriels y Lobo, 2011 citados por Copa, (2014), hasta 0,40 m y densidad real (Dr), mediante el método del picnómetro hasta 0,40 metros.

Finalmente, dentro de las propiedades hidráulicas, se determinaron el contenido de agua a Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez

Permanente (PMP) de las muestras obtenidas hasta 0,40 m de profundidad, obtenidas mediante el método Ollas a presión de Richards. Por otra parte, la velocidad de infiltración fue determinada mediante el método del infiltrómetro de doble anillo. (Santa et al., 2005).

Análisis climático

Se realizó el análisis de los parámetros: precipitación, temperatura, humedad relativa y viento, registrados por la estación meteorológica de la Estación Experimental Sapecho, ubicado a latitud sud de 15°33' 56" y longitud oeste de 67°19' 30", a una altura de 410m.s.n.m. durante los periodos de 1996 a 2015, esto para la determinación de las demandas de evapotranspiración de cada mes.

Tabla 1. Datos climáticos registrados por la Estación Meteorológica de la Estación Experimental Sapecho

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T. max °C	32,3	31,6	31,9	31,9	29,3	28,4	28,9	31,2	32,9	33,3	33,0	32,7
T. min °C	21,3	21,4	21,1	20,1	18,4	17,7	16,6	16,6	17,3	19,8	20,4	21,1
T. media °C	26,8	26,5	26,5	26,0	23,9	23,1	22,7	23,9	25,1	26,6	26,8	26,9
PP (mm)	207,9	190,8	190,9	87,36	52,31	39,96	40,17	37,52	74,06	144,3	113,9	164,8
H.R. (%)	83,6	85,5	84,6	84,9	85,4	85,5	83	80,9	78	78,3	80,5	82,4
Vel. (m/s)	4	3,6	3,8	3,4	2,8	2,9	3,1	3,1	3,3	3,8	3,2	3,4

Fuente: Estación Experimental Sapecho

Instalación de los Dendrómetros

La instalación de los dendrómetros se realizó una vez establecido el área de investigación, basándose en el croquis experimental, previa instalación los dendrómetros se realizarán una limpieza con gasolina y se realizara a lubricación con aceite lubricante a cada uno de los dendrómetros.

Los dendrómetros se instalarán en el tallo de la planta de cacao, a 20 cm de la superficie del suelo, para instalarlos se hará una limpieza con espátula el perímetro del tallo a instalar sin dañar la corteza de la planta, posteriormente se instalarán los equipos, calibrándolos el punto cero en 10 mm de marcador del dendrómetro, el mantenimiento de los dendrómetros se realizó cada 7 días a partir de la instalación para obtener mejores datos de precisión

Riego

El riego se realizó por inundación localizada o riego por pozas, de acuerdo a la programación de riego, anulando la escorrentía superficial.

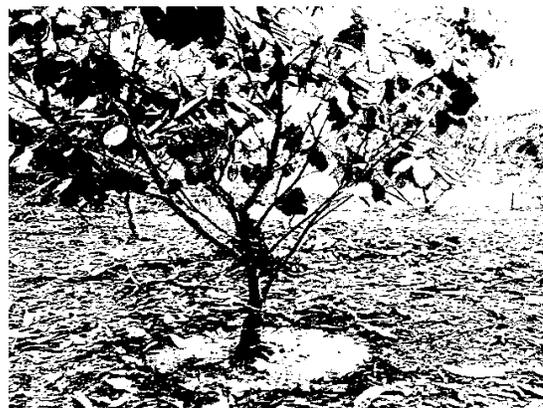


Figura 1. Riego por pozas

Análisis de datos

Los datos empleados para caracterizar los ciclos de variación del diámetro del tronco son:

Medición de las variaciones del diámetro del tronco.

Para la medición de las variaciones micrométricas del diámetro de tallo se utilizaron dendrómetros AEC que tienen un coeficiente de dilatación térmica que tiende a 0.

Análisis de la máxima contracción diaria

Estas variaciones en el diámetro de los troncos poseen una clara base fisiológica durante el día, el desequilibrio entre la demanda climática y la capacidad absorbente de las raíces reduce el potencial hídrico de los conductos rígidos de xilema, favoreciendo el movimiento lateral desde el floema hacia la xilema y ocasionando la contracción del tronco.

Análisis de índice de señal

En este ensayo se evalúa la utilidad y determinación de la intensidad de señal de MCD ($IS = \text{MCDTRATAMIENTO} / \text{MCDCTL}$) para la programación del riego deficitario controlado, a partir del estudio de las relaciones hídricas y respuesta productiva.

Diseño experimental

Para el análisis y la interpretación de datos obtenidos de las variables agronómicas se empleó el diseño experimental de Diseño de Bloques Completos al Azar, según Calzada (1982) citado por (Ochoa, 2009). Asimismo, los tratamientos propuestos para el estudio fueron: tratamiento 1 (T0) sin riego (Producción a secano), tratamiento 2 (T1) riego con 100% del requerimiento de riego, tratamiento 3 (T2) riego con 50% del requerimiento de riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación diámetro del tronco

El registro continuo de las microvariaciones obtenidas del tronco en la planta de cacao

proporciona (figura 15), una valiosa información del crecimiento y estado hídrico de la planta, a la vez que abre expectativas esperanzadoras con relación al manejo del riego en el cultivo de cacao. Son varios los trabajos que demuestran que las variaciones del diámetro de tronco y ramas pueden relacionarse con el estado hídrico de la planta, bien a partir de la evolución en el tiempo de los diámetros máximo y mínimo diarios o a partir de la amplitud de la contracción diaria del tronco.

Kozlowski y Winget (1964), señala que la evolución del diámetro de un órgano vegetal presenta dos componentes, una asociada al crecimiento del órgano y otra a la pérdida de agua. Las variaciones estacionales del diámetro del tronco dependen principalmente del proceso de crecimiento (Kozlowski y Winget, 1964). Sin embargo, a escala diaria también ocurren ciclos de contracción y expansión del diámetro del tronco, en parte como consecuencia del efecto térmico (McCracken y Kozlowski, 1965).

En la figura 15, se ve que la FDT de la dosis de 50% de riego tiene una ligera ventaja al tratamiento con 100% de riego, que es muy favorable a la tasa de crecimiento del tallo en esas plantas, que es considerado plantas de primer año de producción, las plantas de cacao con el 100% de riego también tienen un crecimiento ascendente en la tasa de crecimiento de tallo, sin embargo estas plantas presentan mayor número de mazorcas respecto a las plantas de dosis 50% en los meses de octubre y noviembre, fisiológicamente muchos autores indican que este factor es causante que esas plantas tengan un menor crecimiento en diámetro del tallo.

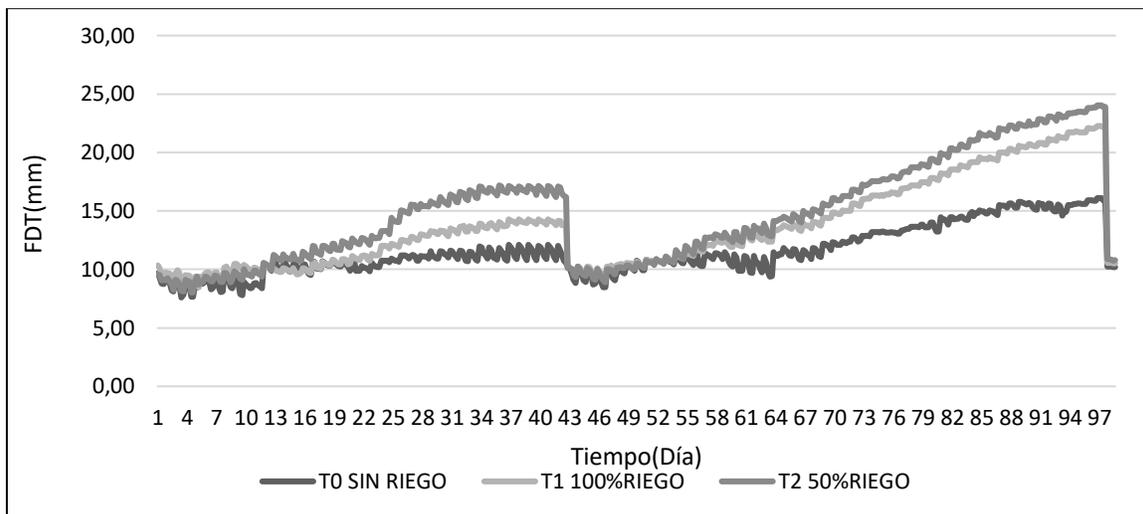


Figura 2. Fluctuaciones del diámetro de tronco (FDT) durante 98 días consecutivos

Fluctuación de la máxima contracción diaria

Los valores de MCD mostraron fluctuaciones durante todo el período experimental con diferentes

magnitudes entre los tratamientos (Figura16). Estas diferencias fueron evidentes por la diferencia de humedad en el suelo, provocado por el riego aplicado y las precipitaciones respectivas.

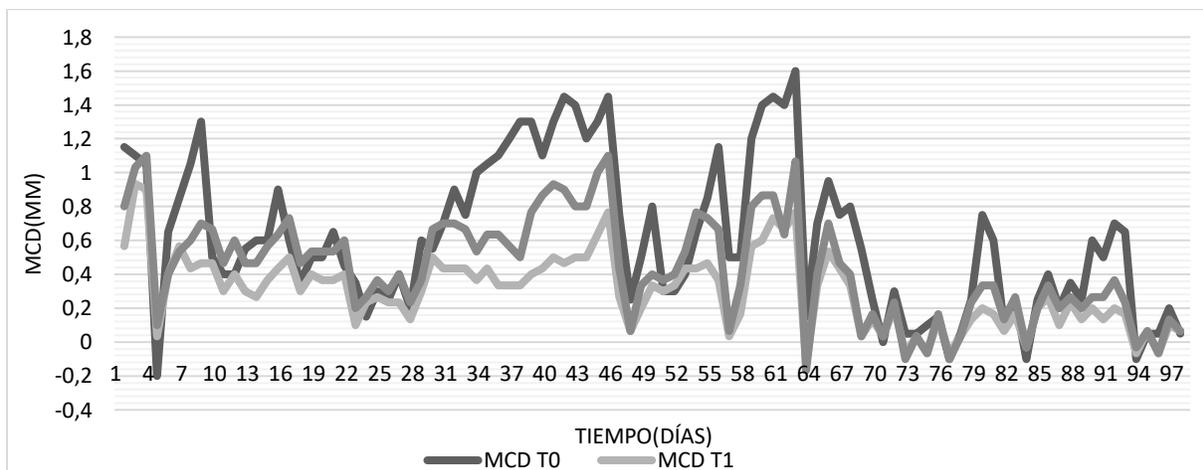


Figura 3. Parámetros de MCD (mm), derivados de las fluctuaciones del diámetro de tronco (FDT) durante 98 días consecutivos

En plantas con riego, los valores de la MCD son menores en todos los meses en evaluación (cuadro 1), los mayores valores se presentaron en las plantas sin riego T-0, en los meses de septiembre, octubre y noviembre con valores medias de 0.85, 0.65 y 0.93mm respectivamente. Los valores de T-1 con 100% de riego son menores en todos los meses con, 0.62, 0.35, 0.41 y 0.09 mm respectivamente, que están por debajo de T-0 y T-2. Las plantas que fueron provocados a un estrés hídrico de la T-2, presentan valores de máxima contracción diaria por encima de la T-1 y por debajo de T-0, presentando valores promedio de cada mes de 0.75, 0.53, 0.61 y 0.14 mm respectivamente.

Líneas de referencia

Se han obtenido líneas de referencia entre la MCD y distintas variables climáticas para el T-1 100% de riego, para los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre comprendida en el periodo de evaluación (Cuadro 2), cada una de ellas con diferentes coeficientes de determinación. Tanto unas como otras pueden ser consideradas útiles para la programación del riego, pero es necesario compararlas con las de años sucesivos para comprobar su estabilidad en el tiempo.

Tabla 2. Líneas de referencia para MCD para los tratamientos de T-1 y T- 2, con variables meteorológicas más representativas para el cultivo de cacao de primer año en producción, que se encuentran en la etapa fenológica de crecimiento, para la región de Alto Beni

Mes	Tratamientos	MCDmed.	EC. REF. MCDTmed.	R ²	EC. REF. MCDTmax.	R ²
SEPTIEMBRE	T-0	0,85				
	T-1	0,62	MCD= 0,3815Tmed - 9,9759	0,40	MCD = 0,1827Tmax - 5,8761	0,76
	T-2	0,75	MCD= 0,5383Tmed - 14,209	0,76	MCD = 0,2361Tmax - 7,6494	0,82
OCTUBRE	T-0	0,65				
	T-1	0,35	MCD= 0,0552Tmed - 1,216	0,48	MCD= 0,031Tmax - 0,751	0,63
	T-2	0,53	MCD=0,0807Tmed - 1,7657	0,48	MCD= 0,0417Tmax - 0,956	0,53
NOVIEMBRE	T-0	0,93				
	T-1	0,41	MCD = 0,0916Tmed - 2,2166	0,51	MCD = 0,0565Tmax - 1,6164	0,72
	T-2	0,61	MCD= 0,1128Tmed - 2,6308	0,36	MCD= 0,0737Tmax - 2,0394	0,56
DICIEMBRE	T-0	0,25				
	T-1	0,09	MCD = 0,0443Tmed - 1,1471	0,66	MCD = 0,0248Tmax - 0,7384	0,63
	T-2	0,14	MCD = 0,062Tmed - 1,5988	0,65	MCD= 0,0353Tmax - 1,0433	0,64

Para el mes de diciembre en T-1 (Cuadro 2 y Figura 20) se obtuvieron valores de r2 de 0.63 para la temperatura máxima, a pesar de que se encuentra sobre-irrigado a causa de las precipitaciones, este bajo grado de asociación entre las variables climáticas, puede deberse a que en ese mes las

plantas se encuentran en el pico más alto en la inflorescencia y esto provoca que las plantas adquieran frutos en gran cantidad, siendo la carga frutal un factor agregado en la magnitud del parámetro de MCD (Intrigliolo y Castel, 2007b).

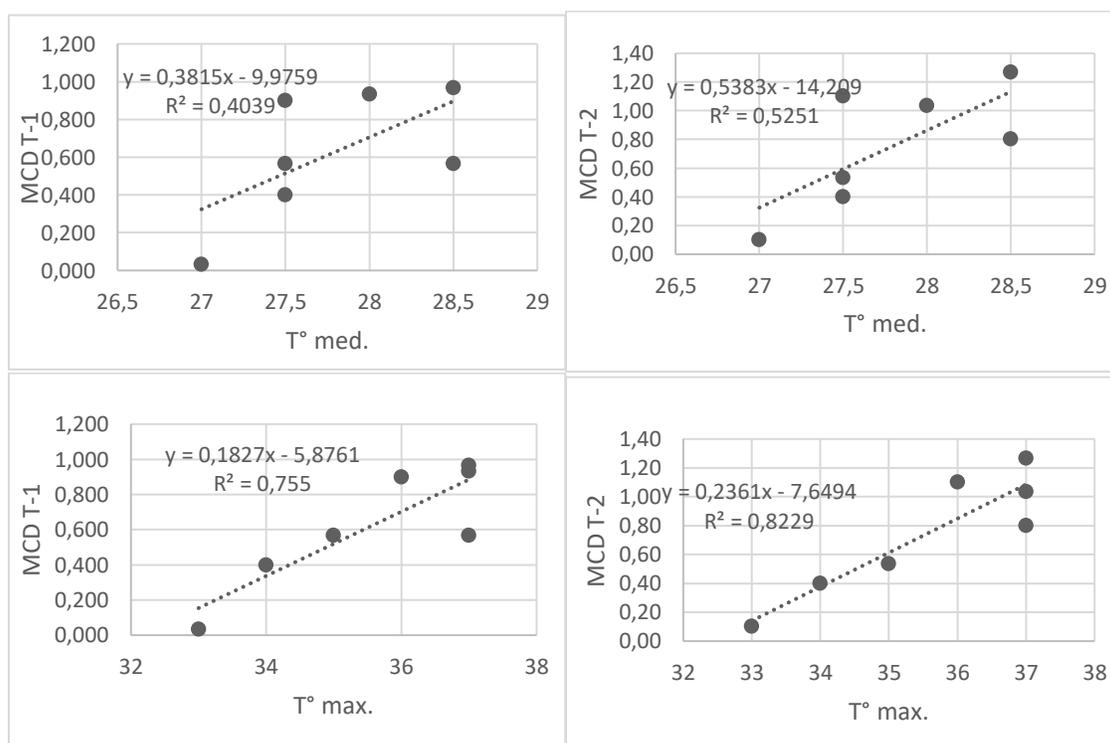


Figura 4. Líneas de referencia en base a MCD para T-1 y T-2 con valores diarios de MCD y variables meteorológicas más representativas obtenidas para el cultivo de cacao en el mes de septiembre

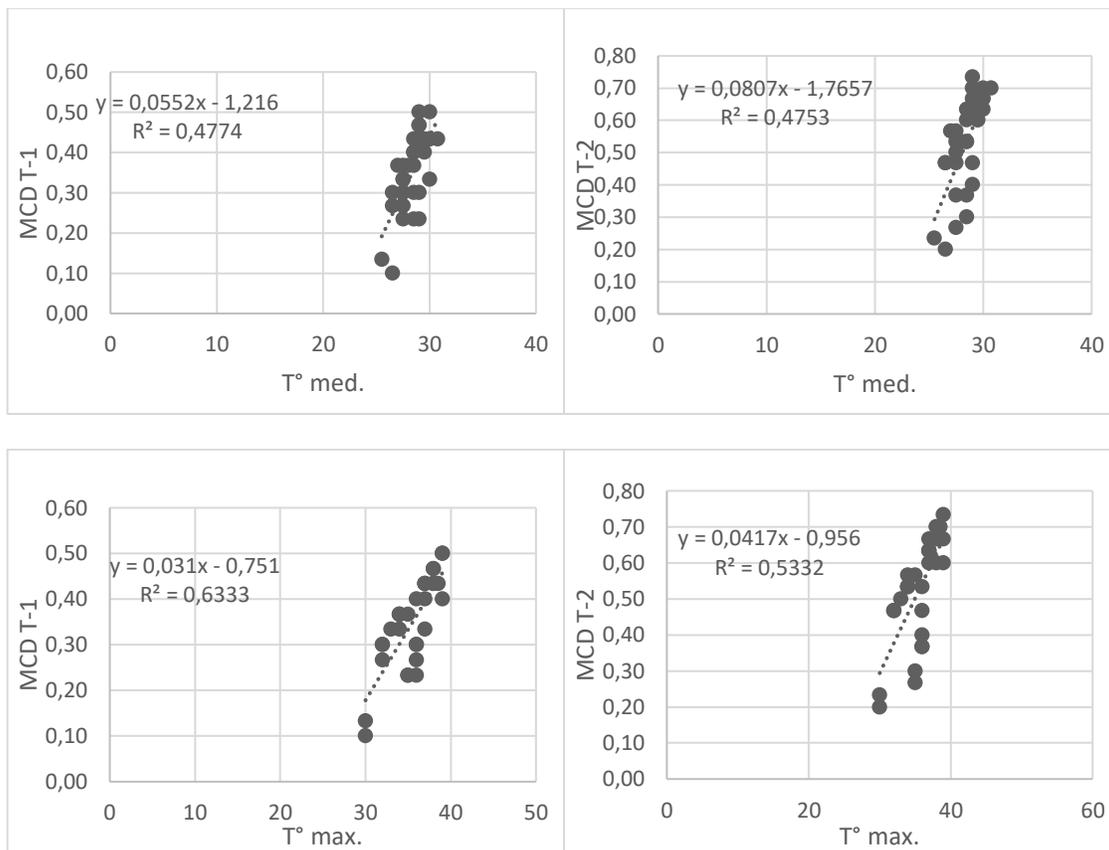


Figura 5. Líneas de referencia en base a MCD para T-1 y T-2 con valores diarios de MCD y variables meteorológicas más representativas obtenidas para el cultivo de cacao en el mes de octubre

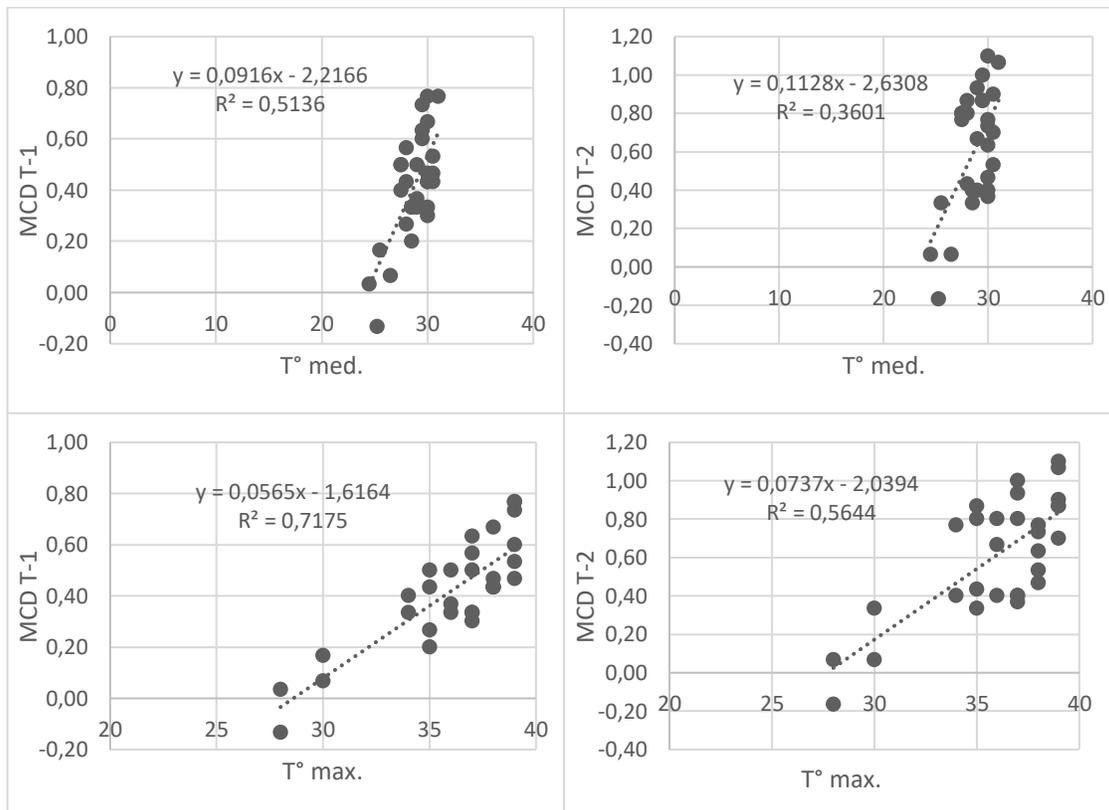


Figura 6. Líneas de referencia en base a MCD para T-1 y T-2 con valores diarios de MCD y variables meteorológicas más representativas obtenidas para el cultivo de cacao en el mes de noviembre

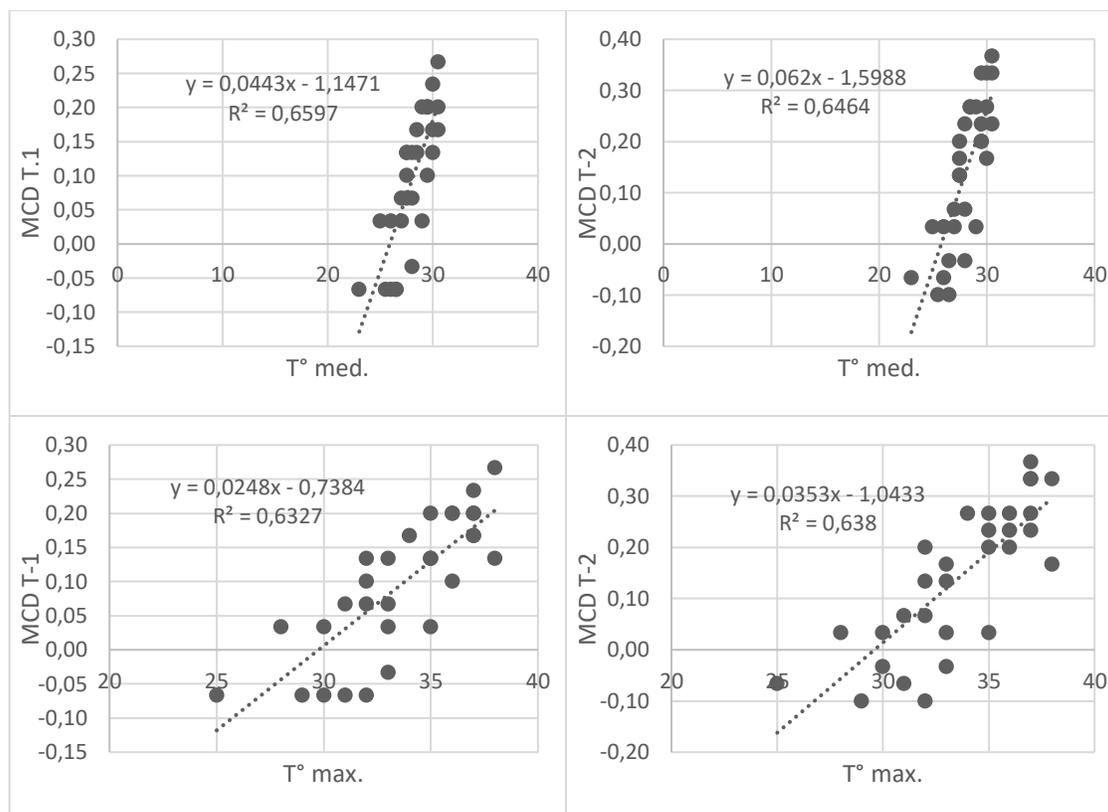


Figura 7. Líneas de referencia en base a MCD para T-1 y T-2 con valores diarios de MCD y variables meteorológicas más representativas obtenidas para el cultivo de cacao en el mes de diciembre

Para el mes de diciembre la variable climática más representativa fue la Tmed con r2 de 0.65 y 0.64 para T-1 Y T-2 respectivamente. Esto debido a que la mayor parte de los días de diciembre se encuentra parcialmente nublado por la época de lluvias, lo que origina que las temperaturas máximas no sean prolongadas.

Intensidad de Señal (IS)

Los valores promedios de IS obtenidos por cada mes evaluada se presentan en el Cuadro 3. Donde se ilustra que para los árboles bien regados presentan valores igual a la unidad mientras que los árboles con reducción de 50% por ciento de riego, sus valores se verán alejados de la unidad.

Tabla 3. Media de intensidad de señal (IS) para el cultivo de cacao para cada uno de los meses evaluados para la programación de riego.

Mes	Tratamientos	IS	CV
Septiembre	T-1	1,00	0,00
	T-2	1,45	0,49
Octubre	T-1	1,00	0,00
	T-2	1,52	0,12
Noviembre	T-1	1,00	0,00
	T-2	1,49	0,21
Diciembre	T-1	1,00	0,00
	T-2	1,33	0,29

Programación del riego

En este ensayo se evalúa la utilidad de la máxima contracción diaria para la programación del cultivo de cacao en la región de Alto Beni, a partir del estudio de las relaciones hídricas y la respuesta productiva.

Tabla 4. Valores umbrales establecidos en el ensayo para los meses de estudio en el cultivo de cacao

Mes	Tratamientos	IS	EC. REF. MCDTmax.
SEPTIEMBRE	T-1	1,00	MCD = 0,1827Tmax - 5,8761
	T-2	1,45	MCD = 0,2361Tmax - 7,6494
OCTUBRE	T-1	1,00	MCD= 0,031Tmax - 0,751
	T-2	1,52	MCD= 0,0417Tmax - 0,956
NOVIEMBRE	T-1	1,00	MCD = 0,0565Tmax - 1,6164
	T-2	1,49	MCD= 0,0737Tmax - 2,0394
DICIEMBRE	T-1	1,00	MCD = 0,0248Tmax - 0,7384
	T-2	1,33	MCD= 0,0353Tmax - 1,0433

CONCLUSIONES

Las plantas de cacao evaluadas, para los tratamientos del ensayo, presentaron a escala diaria ciclos de contracción y expansión diaria del tallo, patentizando que las variaciones del diámetro del tronco poseen una base fisiológica que son dependientes de un desequilibrio entre la demanda evapotranspirativa de la atmosfera y la capacidad de absorción de agua de las raíces. Evidenciando en el mes de diciembre donde se presentó frecuentemente las precipitaciones (264,7 mm en todo el mes), las fluctuaciones fueron menores en las plantas de cacao obteniendo una MCD máxima de 0.75 mm y un mínimo de -0.1 mm para el T-0, para el T-1 presento una MCD máxima de 0.267 mm y un mínimo de -0.067 mm y finalmente para T-2 presento una MCD máxima de 0,36 y un mínimo de -0.1.

La máxima contracción diaria del T-1 sin limitaciones de riego (100% riego), tiene un grado de sensibilidad con la temperatura máxima en los meses de: septiembre con r2 de 0,75, octubre con r2 de 0,63 y noviembre con r2 de 0,71, el mes de diciembre se demuestra que la temperatura media tiene un mayor grado de asociación con la MCD con r2 de 0.659 mientras la máxima contracción diaria de T-2, plantas de cacao expuestas a condiciones de estrés hídrico (50% riego), tiene un grado de sensibilidad con la temperatura máxima en los meses de: septiembre con r2 de 0,82, octubre con r2 de 0,53 y noviembre con r2 de 0,56, el mes de diciembre se demuestra que la temperatura media tiene un mayor grado de asociación con la MCD con r2 de 0.64.

Los resultados obtenidos demostraron que es posible la elaboración de líneas de referencia en base a la MCD con respecto de las variables climáticas que es una de las principales herramientas

para la programación de riego basado en la medición de las FDT.

Se estableció mediante este método de programación intensidades de señal (IS), a partir de las líneas de referencias obtenidas de las plantas sin limitaciones de riego T-1, para plantas expuestas a condiciones de estrés hídrico T-2, con reducción del 50% de riego para los meses de septiembre con un valor de 1.45, octubre con valor de 1.51, noviembre con valor de 1,48 y diciembre con 1.33 , éstos pueden ser más fácilmente reproducibles en lugares distintos a los del ensayo en la región de Alto Beni.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- García, J., & Patricia, L. (2015). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de. Departamento de Producción y Sanidad Vegetal Universidad del Tolima, 45p.
- García, J., Medina, H., & Núñez, D. (2008). El método del hidrómetro: influencia de los tiempos de lecturas en el cálculo de la distribución del tamaño de partículas en suelos de La Habana. *Cultivos Tropicales* 29 (2), 25 – 39.
- Kozlowski, T., & Winget, C. (1964). Diurnal and seasonal variation in radii of tree stems. *Ecology*, 45: 149–155.
- Maldonado, C. (2017). Protocolo de Criterios de Selección de Material Genético de Cacao. Estación Experimental Sapecho - Universidad Mayor de San Andres.
- McCracken, I., & Kozlowski, T. (1965). Thermal contraction in twigs. *Nature*, 208: 910.
- MMAyA - VRHR. (2013). Inventario Nacional de Sistemas de Riego. 2012. 1 ed. VRHR. Cbba., BO. 38 p.
- Moriana, A., & Fereres, E. (2002). Plants indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrig. Sc.* 2, 82-90.

Ochoa, R. (2009). Diseños experimentales. La Paz, BO. 299 p. La Paz, BO. 299 p.

PRONAR. (2005). Gestión campesina y diseño de sistemas de riego. Cochabamba, Bolivia: Textos Gestión Campesina N°22. CAT - PRONAR.

Santa Olalla, M., López, P., & Calera, A. (2005). Agua y Agronomía. Universidad de Castilla – La

Mancha. Madrid, España: Ediciones Mundi – Prensa.

WWDR. (2014). (Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy. UNESCO.Paris, FR. pp. 54 – 55.