

Evaluación de los requerimientos hídricos actuales y futuros, bajo escenarios de cambio climático en cultivos de cacao en el municipio de Nilo, Cundinamarca. Colombia

P. Bermeo¹, J.E. Ospina-Noreña¹

¹*Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.*

1. Resumen

El clima y el recurso hídrico son elementos importantes para los sistemas productivos agrícolas como el cacao (*Theobroma cacao*). En la actualidad, en Colombia no se tienen registros de los requerimientos hídricos de este cultivo y tampoco se sabe cómo podrán variar estos en escenarios climáticos futuros. Por lo tanto, este estudio busca evaluar los requerimientos hídricos actuales y futuros bajo escenarios de cambio climático del cultivo de Cacao en el municipio de Nilo (Cundinamarca). Se utilizó una línea base con datos de las principales variables climáticas, provenientes del IDEAM desde 1975- 2005 (actuales), 11 modelos de predicción climática y los nuevos escenarios de emisiones de gases de efecto de invernadero, definidos como caminos representativos de concentración ó RCP's (por sus siglas en inglés) 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5, con sus respectivos cambios esperados en las temperaturas y precipitación; para los años 2050 y 2070. También fue calculada la evapotranspiración potencial y se realizó el balance hídrico para hallar los déficits, excedentes, almacenaje y cambio de agua en el suelo, evapotranspiración real, además del cálculo del índice de Lang (Precipitación/Temperatura media) y el de disponibilidad hídrica (IDH). Para evaluar los requerimientos hídricos se tuvo en cuenta las variables climáticas, características fisiológicas del cultivo y el tipo de suelos de la región estudiada. Los resultados muestran aumentos en la temperatura media anual de 1.9°C y 2.4 °C, para los años 2050 y 2070, respectivamente y una disminución de la precipitación anual de 22% y 21% para los dos años mencionados. Se espera un aumento en el déficit del 152.8% y cambios en el índice de Lang, pasando de una zona subhúmeda a una zona Árida, y un índice de disponibilidad hídrica de adecuada a seca, lo que conlleva a un aumento del requerimiento de agua del cultivo del 49% para el 2050. Este estudio se convierte en una herramienta para diseñar estrategias de adaptación adecuadas en el municipio de Nilo frente a escenarios de cambio climático futuros.

2. Introducción

Colombia es un país de vocación agrícola, siendo el cacao (*Theobroma cacao* L.) un cultivo de interés para el país. Sin embargo, este presenta niveles bajos de productividad (FAO, 2016), debido a planes de fertilización inadecuados, la falta de asistencia técnica y la falta de información de los requerimientos hídricos del cultivo (FEDECACAO & MADR, 2013). De otro lado, se sabe que el clima de una zona puede determinar el tipo de cultivos en dicho lugar. Es así como la temperatura media y la precipitación anual se tienen en cuenta durante el establecimiento de cultivos. Sin embargo, se ha revelado que el clima actual cambiará en los próximos años, en especial en los trópicos y subtrópicos (IPCC, 2014), donde en zonas de altitudes bajas las precipitaciones disminuirán y en altitudes superiores, éstas aumentarán (IPCC, 2014; Ospina Noreña, Domínguez-Ramírez, Vega-Rodríguez, Darghan-Contreras, & Rodríguez-Molano, 2017). De acuerdo con el MADR (2016), el departamento de Cundinamarca ocupa el onceavo puesto en la producción de cacao en Colombia, siendo el municipio de Nilo importante productor del cultivo. El municipio presenta un alto potencial en la producción del cacao, sin embargo, el cambio climático podría

generar impactos negativos como la disminución de las fuentes hídricas en esta zona. De otro lado, una de las limitantes para generar estrategias de mitigación es que no se tiene estimado el efecto del cambio climático sobre los requerimientos hídricos del cacao en esta región. De esta manera se pretende evaluar los requerimientos hídricos actuales y futuros bajo escenarios de cambio climático en cultivos de cacao en el municipio de Nilo, Cundinamarca.

3. Materiales y métodos

Descripción del área de estudio: Fue evaluado el municipio de Nilo (4° 18' 21.2" L N, 74° 38' 55.2" LW), ubicado al sur occidente del departamento de Cundinamarca. La precipitación media anual es de 1292 mm y la temperatura media es de 23.4 °C. El Índice de Lang (IL) clasifica la zona de Nilo como zona húmeda de estepa.

Línea base y escenarios de cambio climático: Para la línea base se tuvo en cuenta la realizada por (Leguizamón & Ospina, 2017) para la zona de estudio, con registros de datos provenientes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) entre los años 1975 – 2005. También se usaron 11 modelos climáticos globales (tabla 1), disponibles en la base de datos del proyecto Couple Model Intercomparison Project Versión 5 (CMIP5) con una resolución de 2.5 minutos, para los años 2050 y 2070 y con los RCP's 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5. Esta información fue procesada en ArcMap 10.3.1 y luego corregida teniendo en cuenta las anomalías generadas por los modelos actuales del CMIP5.

Tabla 1. Modelos utilizados para las proyecciones climáticas de este estudio.

Modelo	Código	Modelo	Código
BCCCM1-1	BC	MIROC-ESM-CHEM	MI
CCSM4	CC	MIROC-ESM	MR
GISS-E2-R	GS	MIROC5	MC
HadGEM2-AO	HD	MRI-CGCM3	MG
HadGEM2-ES	HE	NorESM1-M	NO
IPSL-CM5A-LR	IP		

Balance hídrico e índices fitoclimáticos: El balance hídrico fue realizado siguiendo la metodología utilizada por Ospina *et al.* (2017): Inicialmente se calculó la evapotranspiración potencial (ETo) para cada uno de los escenarios, mediante la ecuación de Penman-Monteith (FAO, 2009) y luego, junto con los valores de precipitación de los escenarios, fueron hallados el almacenamiento de agua en el suelo, los déficits, los excedentes y la variación en el almacenamiento de agua en el suelo, la evapotranspiración real y el uso del agua. Adicionalmente, se calculó el índice de Lang (IL) (ecuación 1) y el Índice de Disponibilidad Hídrica (IDH) (ecuación 2), ambos índices fueron calculados para cada uno de los escenarios proyectados.

$$I_l = \frac{PCP}{T_{media}} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$IDH = ((ETR + (Exc/4))/ETo) * 100 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde PCP: precipitación anual, Tmedia: Temperatura media anual; ETR: Evapotranspiración real; Exc: Excedentes; ETo: Evapotranspiración potencial.

Requerimientos hídricos: Para el cálculo de los requerimientos fue utilizado el software Cropwat 8.0, en el cual se tuvieron en cuenta variables climáticas de la línea base (temperatura mínima, máxima, humedad

relativa, velocidad del viento y horas de brillo solar), éstos usados para los requerimientos actuales del cultivo; las variables de temperaturas y humedad relativa fueron cambiadas por los promedios de los escenarios de cambio climático, con el fin de evaluar los requerimientos futuros para cada zona de estudio. Adicionalmente, se tuvo en cuenta el Kc del cultivo y las etapas fenológicas del cultivo, estas últimas con información entregada por los ingenieros de campo del corredor tecnológico agroindustrial de Cundinamarca (CTA-2). También fueron tomadas en cuenta las características del suelo, de acuerdo al estudio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), donde los suelos se clasifican desde Franco Arcilloso a Arcillosos en el municipio. Sin embargo, para este caso se tomó como un suelo arcilloso, con un porcentaje de agotamiento de la humedad del suelo del 30%.

4 Resultados y discusión

Línea base y escenarios de cambio climático: El Panel Intergubernamental en cambio climático – IPCC, indica que la precipitación podría incrementar en altitudes superiores y reducirse en altitudes bajas en el trópico, además exponen que la temperatura media incrementará a nivel global entre 0.3 y 4.8 °C para el periodo de 2081-2100 (IPCC, 2014). Para el caso de Nilo (Figura 1 a y b), se espera una disminución en la precipitación anual del 16% y un aumento de 1.8 °C en la temperatura media anual para el 2050; para el año 2070, se espera una reducción del 14% en las precipitaciones anuales y un aumento de 2.3 °C de temperatura media para dicha zona. De este modo, se observa que el aumento inminente de la temperatura media sumado con la reducción de la precipitación generará una limitación de los cultivos, debido a la falta de agua en el suelo. Esta falta de agua será generada por la reducción de la precipitación y el aumento de la evapotranspiración, esta última a causa del aumento de la temperatura. De este modo, cultivos como el cacao presentarán estrés por sequía, un posible aumento de plagas y una reducción drástica del rendimiento de los cultivos. De acuerdo con el IDEAM *et al.* (2015), el escenario 2071 - 2100 indica que la precipitación variará entre -10 y 10% respecto a la precipitación actual, mientras que la temperatura media anual aumentará entre 2.51 °C y 2.6 °C para la región suroccidental del departamento, donde se ubica Nilo. La variación entre la información generada en este estudio y la del IDEAM varía, debido a la diferencia en las metodologías utilizadas y la escala geográfica. El IDEAM utilizó el método de ensamble del promedio de fiabilidad conjunta (REA, por sus siglas en inglés), donde utiliza todos los modelos del CMIP5; mientras que en este estudio se toma en cuenta sólo los escenarios que presentaron la información completa, es decir que contenían todos los RCP's en los años 2050 y 2070. Adicionalmente, la escala departamental del IDEAM no permite concluir con exactitud la variación a nivel municipal.

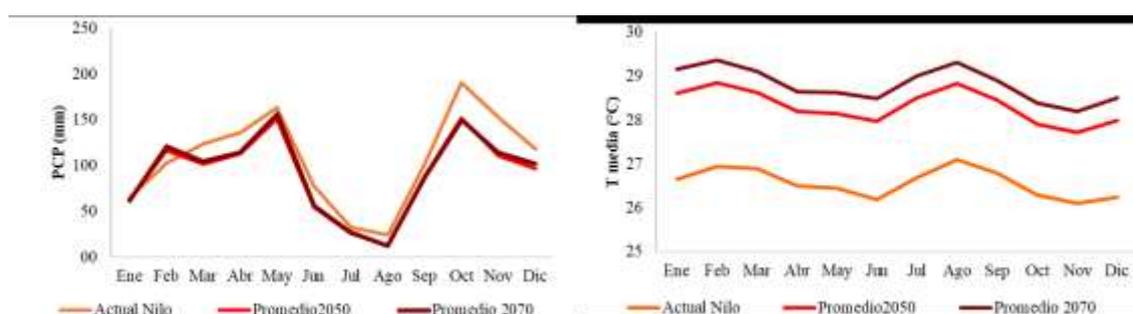


Figura 1. Escenarios de cambio climático para los años 2050 y 2070 en el municipio de Nilo. Precipitación (a) y temperatura media (b).

Balance hídrico e índices fitoclimáticos: El balance hídrico es una herramienta esencial la cual permite identificar fluctuaciones entre la precipitación y la evapotranspiración y además, muestra la disponibilidad de agua en los cultivos (Ospina *et al.*, 2017). Con el fin de observar las diferencias de las variables climáticas entre los escenarios, fueron tomados i) el escenario más pesimista y ii) el más optimista, para los dos años evaluados y en la región estudiada; adicionalmente se tuvieron en cuenta los promedios de todos los escenarios. En la tabla 2, se observan aumentos importantes en el déficit de agua en un 317%, 31.1% y 152.8% para el año 2050 en el escenario pesimista, optimista y en el promedio, respectivamente. Este déficit podría presentarse para todos los meses del año excepto mayo y octubre, comparado con el déficit actual que se presenta en julio, agosto y septiembre. Para el caso del índice de Lang el promedio indica un valor de 38.4 (-21.2%) y 38.6 (-20.8%) para los años 2050 y 2070, respectivamente. Esto indica un cambio en la clasificación del índice de una zona semiárida a una zona árida. El índice de disponibilidad hídrica en Nilo pasará de ser adecuado a semiseco, debido a la disminución en las precipitaciones, la falta de excedentes y el aumento en la evapotranspiración real.

Tabla 2. Resumen de la variación del clima anual en escenarios de cambio climático para el municipio de Nilo (Cundinamarca). La variación de temperatura fue expresada en valor absoluto y las demás variables climáticas en cambios porcentuales, todos estos comparados con valores actuales.

Variable climática	Actual Nilo	Escenario pesimista 2050	Escenario optimista 2050	Promedio 2050	Escenario pesimista 2070	Escenario optimista 2070	Promedio 2070
Tmin (°C)	21.4	2.0	1.3	1.6	2.5	2.5	2.1
Tmax(°C)	22.4	2.1	2.3	2.1	3.5	3.7	2.6
Tmed (°C)	23.4	2.1	1.8	1.8	3.0	3.1	2.3
PCP (mm)	1292.0	-39.8	3.2	-15.8	-36.5	14.3	-14.0
Eto(mm)	1345.0	3.8	3.4	3.5	5.7	5.8	4.1
HR (%)	72.5	-13.4	-10.9	-10.9	-18.2	-18.2	-13.2
Def (mm)	124.5	396.4	31.1	152.8	382.8	13.9	150.1
ETR (mm)	1220.4	-36.3	0.6	-11.8	-32.8	5.0	-10.8
Exc (mm)	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	1.95	22.3
IL	48.8	-44.2	-3.2	-21.2	-43.0	2.2	-20.8
IDH	90.7	-38.6	-0.6	-14.5	-36.4	3.0	-13.8

Tmin, Tmáx y Tmed son las temperaturas máximas, mínimas y medias, respectivamente; PCP, precipitación, ETo, Evapotranspiración potencial; ETR, Evapotranspiración real; HR, humedad relativa; Def, Déficit; Exc, Excedentes; IL, Índice de Lang; IDH, Índice de disponibilidad hídrica.

Requerimientos hídricos: En la figura 3 se ilustran los resultados de los requerimientos hídricos del cultivo de cacao en el municipio, donde se observa que el déficit podría presentarse prácticamente todo el año excepto mayo, octubre y noviembre, comparado con el déficit actual que se presenta en julio, agosto y septiembre (Fig. 3 a y b) de este modo, los requerimientos pasarán de 359 mm actuales a 535 mm para el futuro. Adicionalmente, como se observa en los parámetros fenológicos, la primera fase inicial y la fase media (poda y generación del pepino del cacao) son mucho más prolongadas en comparación de otras regiones. Esto puede deberse al posible estrés que se está generando en las plantas de cacao a causa de la sequía, sin embargo, se necesita de investigación para corroborar esta información.

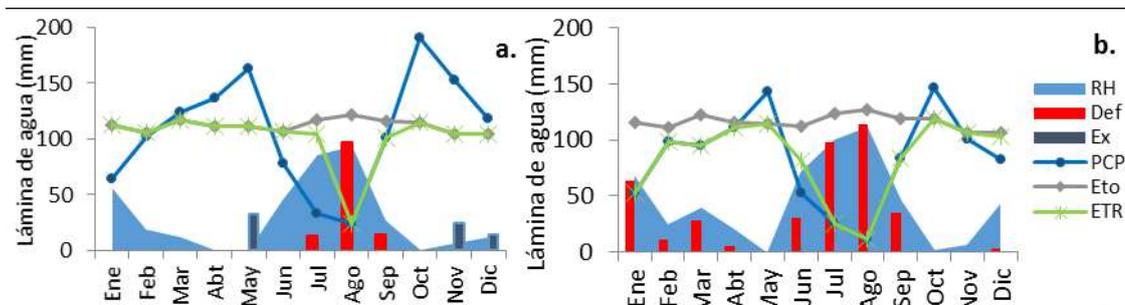


Figura 1. Balance hídrico y requerimientos hídricos del cultivo de cacao por mes en Nilo actual (a), en Nilo para el 2050 (b).

4. Conclusiones

La dinámica de la precipitación en escenarios de cambio climático variará en la zona evaluada, donde se esperan reducciones significativas de esta. En términos de temperatura, se espera que esta aumente más de 1.5 °C en esta región.

Al igual que la precipitación, el balance hídrico varía en el municipio de Nilo, donde se espera un aumento considerable en el déficit del sistema y, por lo tanto, cambios en los índices de Lang (Aridez) y de disponibilidad hídrica (ligeramente húmedo).

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto Corredor Tecnológico Agroindustrial Bogotá-Cundinamarca (Cta-2), Subproyecto “Mejoramiento de la Tecnología de Producción de Cacao en las Provincias de Rionegro y Alto Magdalena, Cundinamarca” financiado por el Sistema General de Regalías de la Gobernación de Cundinamarca y del Distrito de Bogotá, y ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá) y Corpoica.

6. Bibliografía

- FEDECACAO, & MADR. (2013). Guía ambiental para el cultivo del cacao.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2016). FAOSTAT. Retrieved April 11, 2017, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2015). Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 - 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental. PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-58>
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas*. Ginebra. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- Leguizamón, L., & Ospina Noreña, J. E. (2017). *CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA PROYECTO “MEJORAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN DE CACAO EN LAS PROVINCIAS DE RIONEGRO Y ALTO MAGDALENA EN CUNDINAMARCA.”*
- MADR. (2016). Producción y rendimientos nacional por cultivo. Retrieved April 19, 2017, from <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Ospina Noreña, J. E., Domínguez-Ramírez, C. A., Vega-Rodríguez, E. E., Darghan-Contreras, A. E., & Rodríguez-Molano, L. E. (2017). Analysis of the water balance under regional scenarios of climate change for arid zones of Colombia. *Atmósfera*, 30(1), 63–76.

<https://doi.org/10.20937/ATM.2017.30.01.06>