



Respuesta del cacao (*Theobroma cacao*) clon CCN-51 a la fertilización en condiciones agroclimáticas del Trapecio Amazónico Colombiano

Response of the cocoa (*Theobroma cacao*) CCN-51 clone to fertilization under agroclimatic conditions of the Colombian Amazon Trapezium

Gelber Rosas-Patiño^{1*} ; Verenice Sánchez-Castillo¹ ; Carlos Patiño-Torres²

¹Universidad de la Amazonia, Facultad de Ingeniería. Florencia - Caquetá, Colombia; e-mail: g.rosas@udla.edu.co; ve.sanchez@udla.edu.co

²Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica. Ibagué - Tolima, Colombia. e-mail: copatinot@ut.edu.co

*autor para correspondencia: g.rosas@udla.edu.co

Cómo citar: Rosas-Patiño, G.; Sánchez-Castillo, V.; Patiño-Torres, C. 2025. Respuesta del cacao (*Theobroma cacao*) clon CCN-51 a la fertilización en condiciones agroclimáticas del Trapecio Amazónico Colombiano. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 28(1):e2563. <http://doi.org/10.31910/rudca.v28.n1.2025.2563>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

Recibido: marzo 11 de 2024

Aceptado: mayo 27 de 2025

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El clon CCN-51 es uno de los más utilizados en la siembra de cultivos de cacao en Suramérica por su excelente producción, adaptabilidad y tolerancia a enfermedades, pero su desempeño no ha sido suficientemente estudiado en la Amazonía colombiana. Esta investigación se centró en conocer el efecto de la fertilización y el clima en el comportamiento productivo del clon en condiciones del trapecio amazónico. En un jardín clonal de cacao, se estableció un diseño de bloques completos al azar, con y sin fertilización y se llevaron registros mensuales de mazorcas sanas, mazorcas enfermas, producción y pérdida de grano seco. Se correlacionaron los datos de producción con la precipitación, la temperatura, el brillo solar y la humedad relativa y se comparó la producción del clon de cacao con los reportes nacionales de cosecha, durante el periodo de estudio. Los resultados evidenciaron que la producción de mazorcas por árbol no se vio afectada por la fertilización y la cantidad de mazorcas sanas fue superior a las enfermas. Se registraron dos picos de cosecha en mayo y septiembre, que se correlacionan con el brillo solar. La baja fertilidad de los suelos no resulta limitante para que el cacao clon CCN-51 alcance rendimientos importantes, con bajas pérdidas por pudrición de mazorca, lo que resulta favorable para los cacaocultores.

Palabras clave: Calendario cacaotero; Interacción genotipo-ambiente; *Moniliophthora roreri*; *Phytophthora* sp.; Rendimiento de cacao.

ABSTRACT

The CCN-51 clone is one of the most used in planting cocoa crops in South America due to its excellent production, adaptability, and disease tolerance. Still, its performance has not been widely studied in the Colombian Amazon. This research focused on understanding the effect of fertilization and climate on CNN-51 productive behavior in Amazon trapezium conditions. In a clonal cocoa garden, a randomized complete block design was established, with and without fertilization, and monthly records were kept of healthy cocoa pods, diseased pods, production, and dry grain loss. Production data were correlated with precipitation, temperature, sunlight, and relative humidity, and the production of the cocoa clone was compared with the national harvest reports during the study period. The results showed that the production of pods per tree was unaffected by fertilization, and the number of healthy pods was higher than that of diseased pods. Two harvest peaks were recorded in May and September, correlating with solar brightness. The low soil fertility is not a limitation for the cocoa CCN-51 clone to achieve significant yields, with low loss due to cocoa pod rot, which is favorable for cocoa farmers.

Keywords: Cocoa calendar; Cocoa yield; Genotype-environment interaction; *Moniliophthora roreri*; *Phytophthora* sp.

INTRODUCCIÓN

El cacao es un cultivo de gran importancia en Colombia y que, cada vez, toma mayor relevancia como alternativa de producción en las familias campesinas de la Amazonia colombiana. En la Amazonia continental, conformada por parte de Brasil, Perú, Ecuador y Colombia, se encuentran de manera silvestre numerosas especies del género *Theobroma* (González-Orozco *et al.* 2020).

Algunos materiales con excelentes características genotípicas han sido aislados, mejorados y propagados masivamente, como estrategia tecnológica para impulsar su producción con fines comerciales. Se conocen tres variedades de cacao de importancia agronómica (Fedecacao, 2013): “criollo”, originario de Centroamérica, Antillas y norte de Suramérica; “forastero”, región Amazónica y “trinitario”, híbrido entre criollo y forastero. El clon Colección Castro Naranjal (CCN-51) corresponde a la variedad forastero es un híbrido creado a partir del IMC 67 y el ICS 95 por el productor Homero Castro Zurita, en la finca “Naranjal”, en la región de Guayas, Ecuador (Boza *et al.* 2014); se cultiva abundantemente en diferentes países productores de cacao, por su autocompatibilidad en la fecundación floral, alto rendimiento, adaptabilidad a diferentes ambientes y tolerancia a enfermedades (Jaimez *et al.* 2022).

La producción en las plantaciones de cacao está condicionada, entre otros aspectos, por las condiciones ambientales, el tipo de clon y las condiciones fisicoquímicas del suelo (Rosas-Patiño *et al.* 2019). El número de mazorcas por árbol y las pérdidas por pudrición de mazorca se pueden ver afectada por los cambios en la precipitación, la temperatura, el brillo solar y la humedad atmosférica a lo largo del año cacaotero (Meneses-Buitrago *et al.* 2019; Mena-Montoya *et al.* 2020; García-Cruzatty *et al.* 2020).

A pesar de que CCN-51 es uno de los clones más implementados en las plantaciones comerciales de la región amazónica son escasos los registros de los efectos de la fertilización edáfica y las condiciones ambientales en su comportamiento productivo, a lo largo de un año cacaotero. Conocer estos aspectos permitirá tomar mejores decisiones en el establecimiento y manejo de plantaciones con CCN-51.

Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivos evaluar los efectos de la fertilización de síntesis química en la producción de mazorcas sanas y enfermas, conocer el comportamiento productivo anual del clon en condiciones climáticas del trapezio amazónico y relacionar el comportamiento productivo del CCN-51 con la producción de cacao en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en un jardín clonal de cacao *T. cacao*, propiedad de la Asociación Departamental de Productores de Cacao y Especies Maderables del Caquetá (Acamafrut), ubicado en el Departamento de Caquetá, municipio de Puerto Rico, con coordenadas geográficas N 1°52'12", W 75°12'24", a 250 m s.n.m., en instalaciones del Jardín clonal (J.C.). Se encuentra ubicado

dentro del trapezio amazónico, a 250 m s.n.m., en las estribaciones de la cordillera Oriental. La zona presenta un paisaje de lomeríos, con temperaturas medias de 22 a 24 °C, precipitación media anual de 4.063 mm, brillo solar de 3,7 horas/día y humedad relativa de 83 % (IDEAM, 2017).

La plantación policlonal de cacao se encuentra conformada por material de TSH-565, ICS-39, ICS-1 CCN-51, ICS-60, ICS-95, IMC-67, entre otros clones; fueron sembrados en el 2010, en un área de 1,5 hectáreas, a una distancia de 3 metros entre plantas y 3 metros entre surcos. En el 2014, se seleccionaron árboles de CCN-51 con siete años, establecidos en condiciones agronómicas similares. Desde su establecimiento hasta los siete años, recibieron aplicaciones de 300 g de cal dolomita, 200 g de 15-15-15 (N-P-K) y 1 kg de abono orgánico compostado por árbol, dos veces al año. Para el ensayo, los árboles dejaron de fertilizarse por un año, se realizaron prácticas de manejo como control manual de plagas y enfermedades y podas al 50 % de área foliar al inicio de marzo. Estas prácticas se mantuvieron durante la investigación.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos (con y sin fertilizante) y cuatro repeticiones. En cada tratamiento se seleccionaron cuatro árboles, para un total de ocho unidades experimentales, donde la unidad experimental estuvo compuesta por cada árbol de cacao.

A partir de la fertilidad inicial del suelo y los requerimientos del cultivo planteados por Puentes-Páramo *et al.* (2014) y Baligar & Fageria (2005), se establecieron los tratamientos, como se evidencia en la tabla 1. La fertilización se inició en el 2015 y se fraccionó en dos aplicaciones al año, se depositó en la superficie del suelo en la zona de plato, la primera en abril y la segunda en agosto. Los fertilizantes utilizados fueron: urea (46-00-00 %), como fuente de nitrógeno; N-K-P (00-52-34 %), como fuente de potasio y fósforo y KCl (00-00-60 %), como fuente de potasio. La necesidad de fertilizante a aplicar (NF_x) para cada nutriente se estimó a partir de la siguiente ecuación (Rodríguez & Rodríguez, 1993):

$$NF_x = \frac{\text{Requerimiento cultivo (kg)} - \text{Aporte del suelo (kg)}}{\text{Eficiencia del fertilizante}} \times 100$$

La eficiencia del fertilizante para N-P-K fue de 50, 30 y 60 %, respectivamente (Puentes-Páramo *et al.* 2014).

Para conocer el comportamiento de la producción, se llevó el registro de enero a diciembre de 2016, cada 15 días, del número de mazorcas sanas (MazSan) y mazorcas enfermas (MazEnf) por árbol. Las MazSan correspondieron a frutos sin afectación por agentes fitosanitarios y con granos aprovechables, y las MazEnf, a frutos sin granos aprovechables y afectados por el complejo pudrición de mazorca ocasionada por *Moniliophthora roreri* o *Phytophthora* sp., principales patógenos que afectan el cultivo en la zona. Se determinó la producción y las pérdidas de cosecha en kg/ha, mediante la relación de MazSan y MazEnf por árbol (respectivamente) y el índice de mazorca (IM) de cada tratamiento (datos no publicados); para ello, se consideró una densidad de siembra de 1.000 árboles por hectárea.

Tabla 1. Características químicas del suelo para cada tratamiento evaluado en la producción de cacao clon CCN-51, en el Trapecio Amazónico colombiano, a 30 cm de profundidad.

Tratamiento	pH	CIC	Al	Fe	Mn	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
	---	cmol(+)/kg	mg/kg			Kg/ha/año				
T ₁ : sin fertilización	4,4	4,7	89,3	102,8	19,1	11,2	10,0	60,0	152,5	18,7
T ₂ : con fertilización						73,0	35,2	219,7		

Del mismo modo, se obtuvieron los registros medios mensuales, correspondientes al 2016, de precipitación (mm), de temperatura (°C), de brillo solar (h) y de humedad relativa (%) de la estación climática del Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM), más próxima a la zona de estudio, con el fin de realizar análisis descriptivos y correlacionales.

El efecto de la fertilización, los periodos de cosecha y sus interacciones sobre la producción anual y mensual, se determinó a partir de modelos lineales generalizados mixtos ($p < 0,0001$), utilizando la distribución normal y se realizó la prueba Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC), para la comparación entre las medias ($p < 0,05$) (Di Rienzo *et al.* 2020). El comportamiento de la producción de MazSan y MazEnf por árbol (registros mensuales), durante el periodo de estudio, se visualizaron a partir de perfiles multivariados.

Con la finalidad de interpretar la relación entre variables climáticas y la producción de mazorcas/árbol, con los registros climáticos y productivos, se elaboraron gráficos de puntos; además, se estimó la correlación entre la producción de mazorcas y registros climáticos, a partir de la prueba de Spearman (prueba de rangos para variables no paramétricas). Al final, se compararon mediante un gráfico descriptivo de barras, los registros porcentuales mensuales de producción del clon de cacao CCN-51, obtenidos en esta investigación, con la producción de cacao nacional. El análisis estadístico se realizó mediante el programa estadístico InfoStat-Profesional, versión 2020p (Di Rienzo *et al.* 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la fertilización en la producción de mazorcas. La producción general de mazorcas por árbol, durante el año cacaotero de 2016, no se vio afectada por la aplicación de fertilizantes ($p < 0,0001$); la cantidad de MazSan ($41,45 \pm 2,28$) fue superior ($p < 0,05$) a MazEnf ($7,18 \pm 0,95$). A pesar de que los árboles fertilizados presentaron registros de producción de mazorcas levemente superior (4 y 2 mazorcas más, respectivamente) a los árboles sin fertilizar, las diferencias entre las medias no fueron estadísticamente significativas.

El clon de cacao CCN-51 no incrementó la producción de mazorcas por efecto de la aplicación de N, P y K para llevarlos a los niveles sugeridos en algunas investigaciones, como las de Baligar & Fageria (2005) y Puentes-Páramo *et al.* (2014), evidenciando baja respuesta

del clon al uso de fertilizantes y cierta habilidad para gestionar los nutrientes disponibles en la fertilidad natural del suelo, como lo reportaron Rosas-Patiño *et al.* (2019), quienes encontraron que el clon no responde significativamente a las fertilizaciones de N-P-K cuando los suelos presentan niveles de fertilidad natural, similares a los utilizados en esta investigación.

Al parecer, el clon es eficiente en el uso de nutrientes y requiere bajas cantidades para expresar su potencial de producción. La producción media de frutos por árbol fue muy superior a la reportada por Mendoza-Meneses *et al.* (2023), quienes registraron producciones para el mismo clon cercanas a 23 mazorcas/árbol en el estado de San Luis Potosí, México, en árboles de siete años; sin embargo, la cantidad de mazorcas encontradas en este estudio resultaron menores a los registros de Leiva-Rojas *et al.* (2019), en plantaciones de ocho años, en Chigorodó Antioquía, Colombia, quienes hallaron producciones de 58 frutos por árbol/año.

La cantidad de MazEnf representó alrededor del 8,70 %, lo que se considera baja, comparativamente con registros de clones susceptibles, en donde se pueden encontrar pérdidas cercanas al 80 % (Krauss *et al.* 2006), pero coincidentes con otras investigaciones en el clon de cacao CCN-51 que registran mínimas pérdidas de mazorcas (<10 %), por pudrición del fruto, gracias a la moderada resistencia del clon al ataque de *Moniliophthora roreri* o *Phytophthora* sp. (Kieck *et al.* 2016; Cubillos, 2017; Jaimez *et al.* 2022). Además de las características tolerantes del clon es probable que la poda de los árboles y la recolección quincenal de frutos sanos y enfermos ayudaran a mantener los bajos niveles de infestación, como lo sugieren Rodríguez-Polanco *et al.* (2021).

Producción mensual de mazorcas durante el año 2016. La producción de mazorcas sanas y enfermas por árbol varió durante el calendario de cosecha, pero no se vio afectada por la aplicación de fertilizantes, ni se presentó efecto por la interacción entre factores ($p < 0,0001$).

En el diagrama de perfiles multivariados (Figura 1) es posible visualizar que el clon de cacao CCN-51 presentó dos momentos de alta producción ($p < 0,0001$) en el 2016: en septiembre, con 10 y mayo, con 7 mazorcas/árbol. A pesar de alcanzar importantes registros de producción un mes antes y un mes después de la cosecha (especialmente en el mayor pico de producción), en agosto

y octubre, los registros no resultaron diferentes a los alcanzados el resto del año ($p < 0,05$). En los demás meses, aunque hubo producción de mazorca, los valores reportados fueron los más bajos. El clon de cacao CCN-51 registra dos picos de cosecha, pero mantiene producción de mazorcas durante todo el año.

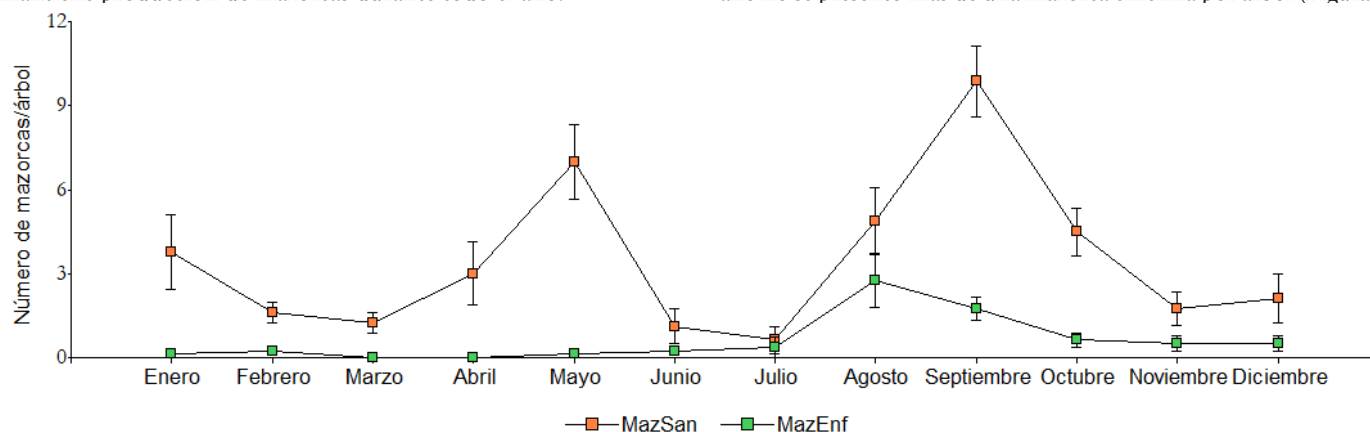


Figura 1. Diagramas dot-plot de perfiles multivariados para mazorcas sanas y mazorcas enfermas del cacao clon CCN-51, durante el 2016, en el Trapecio Amazónico colombiano

El ciclo fenológico del cacao está compuesto por los periodos vegetativo, reproductivo, de cosecha y de reposo (Sosa & Ramírez, 2020). El periodo vegetativo se pudo haber presentado a partir de marzo, luego de la poda, hasta abril, teniendo en cuenta que esta fase tarda alrededor de 45 días, aunque en zonas de precipitación constante, la fase vegetativa es permanente (Leiva-Rojas *et al.* (2019).

El periodo reproductivo está determinado por la floración y producción de polen. Este periodo fue extenso durante el 2016 (desde marzo hasta julio), debido a que en la zona de estudio, de marzo a julio de 2016, se presentaron precipitaciones mensuales superiores a 290 mm y temperaturas cercanas a 25 °C, lo que pudo favorecer la producción de polen. García Cruzatty *et al.* (2017) afirman que la formación de la mazorca está en función de variables ambientales, como el brillo solar, precipitación y la temperatura; en consonancia, Mena-Montoya *et al.* (2020) encontraron correlación positiva moderada entre la polinización y a temperaturas superiores a 26 °C, aunque encontraron relación positiva entre precipitaciones y producción de polen, esta fue débil.

Por su parte, Zuidema *et al.* (2005), mediante un modelo predictivo, encontraron una estrecha correlación positiva entre la precipitación (meses antes de la maduración de la mazorca) y la producción de cacao. Las condiciones de la zona resultan ideales para el periodo reproductivo, en particular, para el clon de cacao CCN-51, material que se caracteriza por su alta eficiencia en la producción de polen (García-Cruzatty *et al.* 2020).

En esta investigación, el periodo de cosecha se presentó en septiembre y uno menor en mayo; es probable que la poda y la fertilización de marzo estimulara la fase reproductiva (en marzo y abril) y a partir de esta, se generó el cuajado y maduración de los frutos. Lo anterior considerando que un fruto tarda, desde la polinización, de cinco a seis meses para alcanzar la maduración y punto de cosecha

Con relación a MazEnf, se presentaron diferencias entre los reportes mensuales ($p < 0,05$); los meses de mayor afectación fueron agosto y septiembre, cuando se alcanzó el mayor pico de cosecha, se registraron entre dos y tres MazEnf por árbol; durante el resto del año no se presentó más de una mazorca enferma por árbol (Figura 1).

(Prabhakaran Nair, 2010). El clon de cacao CCN-51 mantiene producción durante todo el año, pero en el pico de septiembre, el de mayor producción, se obtuvo 30 % más mazorcas con relación al de mayo; en cinco meses (febrero, marzo, junio, julio y noviembre). aunque hubo producción, estas fueron menores a dos mazorcas por árbol. El clon de cacao CCN-51 presentó periodo de reposo entre noviembre y diciembre y junio y julio, luego de alcanzar los picos de cosecha.

Relación de la producción del clon de cacao CCN-51 y variables climáticas. La producción permanente de mazorcas en este clon puede corresponder a las condiciones constantes de brillo solar, altas precipitaciones y temperaturas superiores a los 25 °C. propias de la zona (Figura 2), las cuales, resultan ideales para la producción de polen (García-Cruzatty *et al.* 2020). Considerando que las mazorcas de este clon maduran aproximadamente entre cinco y seis meses en la zona evaluada desde la fecha de la polinización y que existe una correlación negativa entre temperatura y días de maduración (Prabhakaran Nair, 2010), se puede plantear que el pico de cosecha de mayo requirió menos tiempo para la maduración de los frutos (cinco meses), en comparación al pico de septiembre, que requirió seis meses.

Lo anterior, pudo obedecer a que en enero se registraron mayores niveles de brillo solar y temperaturas, pero con presencia de lluvias (Figuras 2A, 2D y 2B); por su parte, el mayor pico de producción del 2016, presentado en septiembre, pudo corresponder a que en abril se presentaron las mayores precipitaciones, con temperaturas altas (superiores a 25 °C) y brillo solar superior a 93 h, es decir, el primer ciclo, el más corto, estuvo promovido por las altas temperaturas y, el segundo, el más largo, por las altas precipitaciones, pero siempre en condiciones climáticas propias del trópico, que favorecen la producción del fruto de *T. cacao*.

En investigaciones anteriores, García Cruzatty *et al.* (2017) reportaron que la formación de la mazorca depende de variables ambientales, como el fotoperíodo, precipitación y la temperatura. Para el clon de cacao CCN-51, las condiciones ambientales ideales para la formación del fruto son las épocas con precipitaciones y temperaturas cercanas a 26 °C (García-Cruzatty *et al.* 2020), como en efecto ocurrió cinco meses antes de los periodos de máxima cosecha en este estudio.

Los tiempos de maduración de fruto reportados en este estudio coinciden con los de Meneses-Buitrago *et al.* (2019), quienes encontraron que en zonas del Cauca, Colombia, con precipitaciones medias anuales de 1.500 mm/año y temperaturas medias de 26 °C, un fruto tarda cinco meses en formarse y madura; sin embargo, este tiempo puede aumentar, si la temperatura disminuye 1,5 °C. Los cambios ambientales pueden afectar los ciclos de cosecha de *T. cacao*.

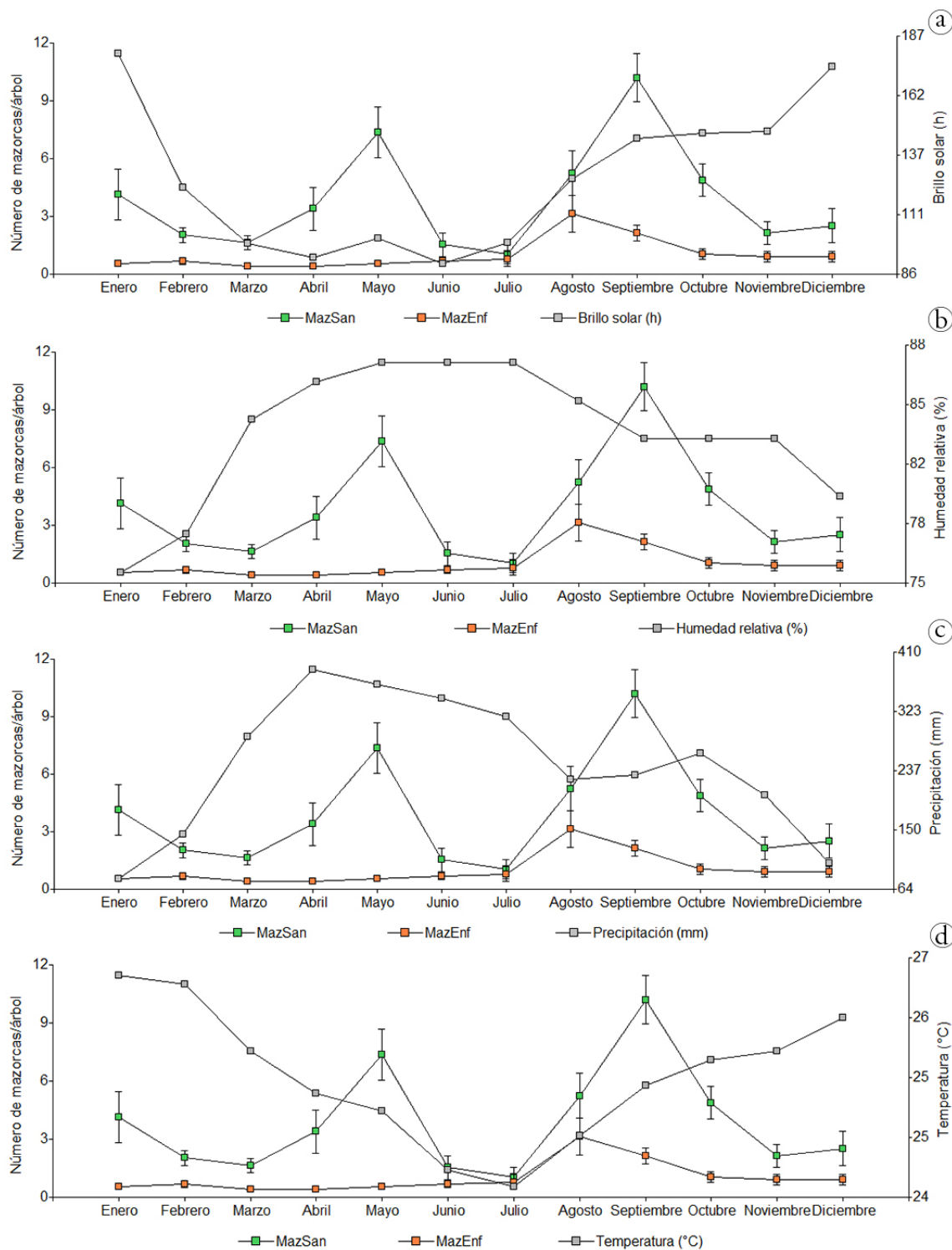


Figura 2. Comportamiento de las variables de producción de cacao clon CCN-51, en el Trapecio Amazónico colombiano, en función de factores climáticos: a) brillo solar; b) humedad relativa; c) precipitación y d) temperatura.

La producción de mazorcas enfermas fue significativamente mayor en agosto y septiembre, cuando la producción se incrementó, justo luego de que en junio y julio (dos meses antes) se registraran las menores temperaturas (24,3 °C) y mayor humedad relativa (87 %), como se evidencia en la figura 2B y 2D. Mayores registros de humedad atmosférica favorecen el desarrollo de enfermedades en cacao (Meneses-Buitrago *et al.* 2019).

Correlación de la producción de mazorcas sanas y enfermas con las variables climáticas durante el 2016. Los registros de producción de MazSan y MazEnf obtenidos para el 2016 presentaron

correlación positiva débil con el brillo solar ($p < 0,05$); con las demás las variables climáticas no se evidenciaron correlaciones (Tabla 2). Lo anterior, se puede deber a que los registros de brillo solar fueron de 1.538,6 hora luz/año (es decir, 4,27 h/día), resultaron favorables para la producción y desarrollo del fruto. Suárez *et al.* (2021) encontraron alta eficiencia fotosintética del clon de cacao CCN-51 en condiciones de 1.200 hora luz/año, en sistemas agroforestales de la Amazonia colombiana. Zuidema *et al.* (2005) reportaron que la radiación solar está relacionada con la producción de cacao, puesto que las condiciones ideales de luz favorecen la actividad fotosintética del cultivo.

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Spearman entre el número de mazorcas sanas y enfermas por árbol de cacao clon CCN-51 y las variables climáticas, en el Trapecio Amazónico colombiano, para el 2016.

Variable(1)	Variable(2)	Spearman	<i>p-valor</i>
MazSan	Precipitación (mm)	0,380	0,951
	Temperatura (°C)	-0,010	0,971
	Brillo solar (h)	0,004	0,032
	Humedad relativa (%)	-0,080	0,427
MazEnf	Precipitación (mm)	-0,190	0,068
	Temperatura (°C)	-0,090	0,360
	Brillo solar (h)	0,220	0,028
	Humedad relativa (%)	-0,090	0,363

MazSan: mazorcas sanas; MazEnf: mazorcas enfermas.

A pesar de que se ha reportado en varios trabajos la relación de la pudrición de mazorca por *Phytophthora* sp. o *Moniliophthora roreri* con factores ambientales, como alta humedad relativa, bajas temperaturas y altas precipitaciones (Ramírez Gil, 2016), tal correlación no se demostró en esta investigación. Lo anterior, probablemente, debido a que la incidencia de *M. roreri* ocurre en épocas de alta humedad, pero se observan síntomas en las mazorcas enfermas días después, cuando las condiciones climáticas han variado. Seng *et al.* (2014) reportaron cambios en el porcentaje de infección con *M. roreri* de mazorcas de cacao 15 días después de la infección, aunque las evidencias pueden variar, según las condiciones ambientales y el tipo de clon; sin embargo, estos resultados son exploratorios y no permiten realizar afirmaciones concluyentes sobre el comportamiento de la pudrición de mazorca.

Relación grano seco del clon de cacao CCN-51 vs producción nacional. En concordancia, con el IM estimado en este cultivo, los datos de MazSan representan una producción aproximada de 3,11 kg/árbol. Estos registros resultan menores a los reportados por Leiva-Rojas *et al.* (2019), quienes registraron rendimientos de 4,7 kg/árbol y similares a los reportados por Rosas-Patiño *et al.* (2021), al obtener altas producciones de CCN-51, en estos suelos de baja fertilidad y pH extremadamente ácidos.

Por su parte, MazEnf representaron una pérdida del 8,7 % de las mazorcas por los agentes *Phytophthora* sp. o *Moniliophthora roreri*, lo que se puede considerar baja y muy favorable para el productor, puesto que, en otros materiales, estos patógenos pueden ocasionar

pérdidas hasta del 70 % (Jaimez Suárez & Aranzazu Hernández, 2010). Ramírez Gil (2016) reportó pérdidas superiores en Antioquía, cercanas al 14,7 %, por ataque de estas enfermedades. Los datos coinciden con lo expuesto por Kieck *et al.* (2016), quienes mencionan que el clon CCN-51 presenta ventajas comparativas con respecto a otros clones, en aspectos como rendimiento y resistencia a enfermedades.

La producción nacional de cacao seco para el 2016, en 173.016 hectáreas registradas, fue de 56.785 toneladas, con rendimientos de 0,45 t/ha (Minagricultura, 2021). Estos rendimientos son inferiores a los encontrados para CCN-51 en esta investigación; sin embargo, es importante destacar que los registros nacionales pueden ser menos exactos, puesto que no toda la producción es reportada.

Producción porcentual del clon de cacao CCN-51 y registros nacionales para el 2016. Con relación a la distribución porcentual para el 2016 (Figura 3), la producción nacional registró dos picos de cosecha, en los periodos de mayo - junio y noviembre - diciembre, cada pico representó el 22,1 y 26,8 %, respectivamente (Minagricultura, 2020), es decir, aproximadamente el 49 % de la producción se colecta en estas dos épocas, siendo mayor la producción que se alcanzó a fin de año. En Colombia, según Fedecacao (2013), se ha implementado la siembra de clones introducidos, entre los que se destacan los ICS (Imperial College Selection), CCN-51, TSH (Trinidad Selection Hybrid), IMC (Iquitos Mixed Calabacillo) y, regionales, como FLE (Fedecacao

Lebrija Santander), FSA (Fedecacao Saravena Arauca), FSV (Fedecacao San Vicente Santander) y FEC (Fedecacao El Carmen), lo que puede ocasionar que los periodos de cosecha no sean homogéneos; más aún, si se considera que en Colombia las zonas

cacaoteras (valles interandinos secos, el bosque húmedo tropical y la zona cafetera) presentan variabilidad edafoclimática y diferentes niveles de aptitud, para el establecimiento y desarrollo del cultivo de cacao (Minagricultura, 2020).

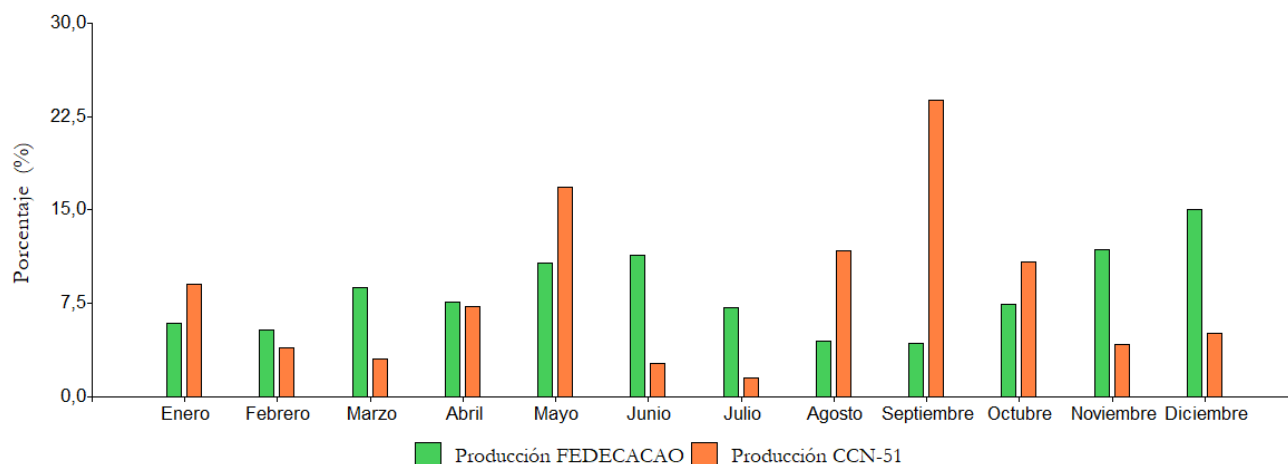


Figura 3. Distribución de la producción mensual de mazorcas de cacao en Colombia y del clon CCN-51, para el 2016.

El clon de cacao CCN-51, por su parte, concentró sus mayores producciones en mayo (16,9 %), coincidiendo, en esta primera cosecha, con la producción nacional y en septiembre (23,8 %), donde registró casi un cuarto del total de cosecha anual (Figura 3). Aunque la producción nacional y la del clon de cacao CCN-51 presentaron dos épocas de cosecha, se registraron producciones en todos los meses del año; sin embargo, en junio-julio y agosto-septiembre la producción resultó más baja para el clon de cacao CCN-51 y la producción porcentual nacional, respectivamente; al parecer, en estos meses los cultivos de cacao se encontraban en un periodo de reposo (Sosa & Ramírez, 2020). Las diferencias en el ciclo fenológico del año cacaotero se pueden deber a la variabilidad ambiental de los sitios, a diferencias en las prácticas de manejo, a los sistemas agroforestales establecidos y a las especificidades genotípicas de los clones (Tosto *et al.* 2023); esto hace que los frutos presenten tiempos de maduración diferentes y se pueda dar, incluso, seis u ocho meses después de la floración (Gallego *et al.* 2022).

Tanto los registros de la producción nacional como los reportes para el clon CCN-51, en esta investigación, coinciden en evidenciar dos picos de cosecha y producciones menores durante todo el año, lo que puede ser una alternativa socioeconómica importante para los cacaocultores, para mantener ingresos de subsistencia permanente.

Se puede concluir que el clon de cacao CCN-51 puede mantener niveles superiores de producción y bajas pérdidas por pudrición de mazorca, aun cuando la oferta de nutrientes corresponde a suelos de baja fertilidad natural. El clon de cacao CCN-51 presenta dos periodos de cosecha bien definidos a lo largo del año cacaotero, pero mantiene producción todo el año. No se evidenciaron correlaciones entre variables climáticas y la producción de mazorcas sanas y enfermas, salvo para el brillo solar, lo que pudo incidir en el periodo reproductivo, que resultó similar a los reportes para Colombia, pero con rendimientos por hectárea significativamente mayores para el clon.

Agradecimientos: los autores expresan su agradecimiento a los cacaocultores del Caquetá, especialmente, a Edilson Giraldo (Acamafrut), q.e.p.d. **Conflictos de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados. **Financiación:** este estudio fue financiado con recursos de Acamafrut y el grupo de investigación en agroecología y desarrollo rural (GIADER) de la Universidad de la Amazonia. **Contribución de los autores:** Gelber Rosas Patiño: conceptualización, metodología, investigación, escritura borrador original y supervisión; Verénice Sánchez-Castillo: análisis formal, escritura-revisión y edición; Carlos Patiño-Torres: escritura, depuración de datos y escritura-revisión.

REFERENCIAS

- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. 2005. Soil aluminum effects on growth and nutrition of cacao. *Soil Science and Plant Nutrition*. 51(5):709-713. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00097.x>
- BOZA, E.J.; MOTAMAYOR, J.C.; AMORES, F.M.; CEDENO-AMADOR, S.; TONDO, C.L.; LIVINGSTONE, D.S.; SCHNELL, R.; GUTIÉRREZ, O.A. 2014. Genetic characterization of the cacao cultivar CCN 51: its impact and significance on global cacao improvement and production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 139(2):219-229. <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.2.219>
- CUBILLOS, G. 2017. Frosty Pod Rot, disease that affects the cocoa (*Theobroma cacao*) crops in Colombia. *Crop Protection*. 96:77-82. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.01.011>

- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2020. Grupo Centro de transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. InfoStat Version. Argentina. Disponible desde Internet en: <http://www.infostat.com.ar>
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS DE COLOMBIA, FEDECACAO. 2013. Características de calidad del cacao de Colombia: catálogo de 26 cultivares. Bucaramanga. 107p.
- GALLEGO, A.M.; ZAMBRANO, R.A.; ZULUAGA, M.; CAMARGO RODRÍGUEZ, A.V.; CANDAMIL CORTÉS, M.S.; ROMERO VERGEL, A.P.; ARBOLEDA VALENCIA, J.W. 2022. Analysis of fruit ripening in *Theobroma cacao* pod husk based on untargeted metabolomics, Phytochemistry. 203:113412. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113412>
- GARCÍA CRUZATTY, L.C.; RIVERO, M.; VÁSCONEZ, G.; PEÑARRIETA, S.; DROPELMANN, F. 2017. Eficiencia reproductiva y producción de polen en *Nothofagus alpina* en un huerto semillero clonal. Bosque. 38(1):133-139. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000100014>
- GARCÍA-CRUZATTY, L.C.; VERA-PINARGOTE, L.; ZAMBRANO GAVILANES, F.; ZAMORA-GARCÍA, A.; CEDEÑO-ORTEGA, J. 2020. Pollen production in *Theobroma cacao* L. genotypes national type and CCN-51 and its relationship with climatic factors on the ecuadorian coast. Acta Agrobotanica. 73(2):7323. <http://dx.doi.org/10.5586/aa.7323>
- GONZÁLEZ-OROZCO, C.E.; SÁNCHEZ GALÁN, A.A.; RAMOS, P.E.; YOCKTENG, R. 2020. Exploring the diversity and distribution of crop wild relatives of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Colombia. Genetic Resources and Crop Evolution. 67(8):2071-2085. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00960-1>
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. 2017. Indicadores climáticos. Disponible desde Internet en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/1772>
- JAIMEZ SUÁREZ, Y.; ARANZAZU HERNÁNDEZ, F. 2010. Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). Colombia. Corpoica. 90p. Disponible desde Internet en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12699/81628_56560.pdf?sequence=3
- JAIMEZ, R.E.; BARRAGÁN, L.; FERNÁNDEZ-NIÑO, M.; WESSJOHANN, L.A.; CEDEÑO-GARCIA, G.; SOTOMAYOR, CANTOS, I.; ARTEAGA, F. 2022. *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. PeerJ. 10:e12676. <https://doi.org/10.7717/peerj.12676>
- KIECK, J.S.; ZUG, K.L.M.; HUAMANÍ YUPANQUI, H.A.; GÓMEZ ALIAGA, R.; CIERJACKS, A. 2016. Plant diversity effects on crop yield, pathogen incidence, and secondary metabolism on cacao farms in Peruvian Amazonia. Agriculture, Ecosystems and Environment. 222:223-234. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.006>
- KRAUSS, U.; TEN HOOPEN, G.M.; HIDALGO, E.; MARTÍNEZ, A.; STIRRUP, T.; ARROYO, C.; GARCÍA, J.; PALACIOS, M. 2006. The effect of cane molasses amendment on biocontrol of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) and black pod (*Phytophthora* spp.) of cocoa (*Theobroma cacao*) in Panama. Biological Control. 39:232-239. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.06.005>
- LEIVA-ROJAS, E.; GUTIÉRREZ-BRITO, E.E.; PADO-MACEA, C.J.; RAMÍREZ-PISCO, R. 2019. Comportamiento vegetativo y reproductivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) por efecto de la poda. Revista Fitotecnia. Mexicana. 42(2):137-146.
- MENA-MONTOYA, M.; GARCÍA-CRUZATTY, L.C.; CUENCA-CUENCA, E.; VERA-PINARGOTE, L.D.; VILLAMAR-TORRES, R.; MEHDI-JAZAYERI, S. 2020. Pollen flow of *Theobroma cacao* and its relationship with climatic factors in the central zone of the ecuadorian littoral. Bioagro. 32(1):9-48.
- MENDOZA-MENESES, C.J.; FERREGRINO-PÉREZ, A.A.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R.G.; GARCÍA-TREJO, J.F. 2023. Implementation of pre-harvest techniques in emerging agroforestry systems to increase the yield of cocoa tree (*Theobroma cacao* L.). Heliyon. 9:e14542. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14542>
- MENESES-BUITRAGO, D.H.; BOLAÑOS-BENAVIDES, M.M.; GÓMEZ-GIL, L.F.; RAMOS-ZAMBRANO, H.S. 2019. Evaluation of irrigation and pruning on the phenology and yield of *Theobroma cacao* L. Agronomía Mesoamericana. 30(3):681-693. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.36307>
- MINAGRICULTURA. 2020. Estrategia de ordenamiento de la producción cadena productiva del cacao y su industria. 38p. Disponible desde Internet en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/S4128-Plan%20OP%20Cacao%202020.pdf>
- MINAGRICULTURA. 2021. Cadena de cacao. 34p. Disponible desde Internet en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

- PRABHAKARAN NAIR, K.P. 2010. Chapter 4 the agronomy and economy of important tree crops of the developing world. En: Sparks, D.L. Advances in Agronomy. Academic Press. 101:131-180. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)00804-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00804-3)
- PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR-FLORES, J.C.; GÓMEZ-CARABALÍ, C.A.; ARANZAZU-HERNÁNDEZ, F. 2014. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. Acta Agronómica. 63(2):145-152. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.40041>
- RAMÍREZ GIL, J.G. 2016. Pérdidas económicas asociadas a la pudrición de la mazorca del cacao causada por *Phytophthora* spp., y *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al., en la hacienda Theobroma, Colombia. Revista Protección Vegetal. 31(1):42-49.
- RODRÍGUEZ, S.; RODRÍGUEZ, J.J. 1993. La fertilización de los cultivos: un método racional. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica Chile. 291p.
- RODRÍGUEZ-POLANCO, E.; PARRA-ALFERES, E.B.; BERMEO-FUQUENE, P.A.; SEGURA-AMAYA, J.D.; RODRÍGUEZ-POLANCO, L.A. 2021. Manejo de la pudrición parda de la mazorca (*Phytophthora palmivora*) en cacao por aplicación conjunta de prácticas culturales y químicas. Revista Facultad de Ciencias Básicas. 16(1):79-93: <https://doi.org/10.18359/rfcb.4887>
- ROSAS-PATÍÑO, G.; PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR FLORES, J.C. 2019. Efecto del encalado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia colombiana. Revista Ciencia & Tecnología Agropecuaria. 20(1):05-16. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1247
- ROSAS-PATÍÑO, G.; PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR-FLORES, J.C. 2021. Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 24(1):e1643. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643>
- SENG, J.; HERRERA, G.; VAUGHAN, C.S.; MCCOY, M.B. 2014. Use of *Trichoderma fungi* in spray solutions to reduce *Moniliophthora roreri* infection of *Theobroma cacao* fruits in Northeastern Costa Rica. Revista Biología Tropical. 62(3):899-907. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i3.14059>
- SOSA, E.P.; RAMÍREZ, G.R.G. 2020. Posibles efectos del cambio climático en la región productora de cacao en Tabasco, México. Tlalli. Revista de Investigación en Geografía. (3):39-67. <https://doi.org/10.22201/ffyl.26832275e.2020.3.1069>
- SUÁREZ, J.C.; GELPUD C.; NORIEGA, J.E.; ORTÍZ-MORERA, F.A. 2021. How do different cocoa genotypes deal with increased radiation? An analysis of water relation, diffusive and biochemical components at the leaf level. Agronomy. 11(7):1422. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071422>
- TOSTO, A.; MORALES, A.; RAHN, E.; EVERS, J.B.; ZUIDEMA, P.A.; ANTEN, N.P.R. 2023. Simulating cocoa production: A review of modelling approaches and gaps. Agricultural Systems. 206:103614. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103614>
- ZUIDEMA, P.A.; LEFFELAAR, P.A.; GERRITSMA, W.; MOMMER, L.; ANTEN, N.P.R. 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. Agricultural Systems. 84:195-225. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.06.015>