

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MNC (MUPV) V1 PARA LA NUTRICIÓN DEL CACAO

R. Ramírez-Pisco, A.E. Ramírez-Montes; E.I. Leiva Rojas
rramirez@unal.edu.co, aneramirezmo@unal.edu.co, eileiva@unal.edu.co
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
Grupo de Investigación AgroXue.

RESUMEN

El empleo de los modelos para la producción agrícola, inició su desarrollo desde el mismo momento del descubrimiento de la agricultura, en donde el hombre con la observación del comportamiento del clima, logró descubrir el momento oportuno de la siembra, a reconocer el crecimiento y desarrollo de las plantas y estar listo en el momento de la cosecha, generó estrategias para que los cultivos alcancen su producción año tras año. Sin embargo, aun después de transcurridos más de 7000 años se continúa en la búsqueda por descifrar el manejo de los cultivos y asegurar la nutrición, la producción de fibras, la generación de medicamentos y el confort de una población que cada día va en aumento. Para la construcción del modelo de nutrición en cacao, fue necesario el trabajo multidisciplinario a partir del año 2009, con el propósito de generar información de más de 40 variables de los componentes clima, suelo y planta. El modelo Manejo de la nutrición de cacao en Maceo, Urabá y Puerto Valdivia en su primera versión MUPV1 se concibió de carácter mixto, construido a partir de los conocimientos expertos, datos de investigación y análisis estadísticos, que permiten establecer los indicadores para alcanzar una producción potencial del cacao. El modelo contempla los limitantes que se deben superar para la producción del cacao, aun previo al establecimiento del cultivo. MNC-MUPV 1, toma en cuenta los principios de reposición y la ley del mínimo propuestos por Liebig desde 1840, junto con la ley de los rendimientos decrecientes de Mitscherlich, partiendo desde la interacción del medio edáfico, climático y vegetal. Se generó directamente en campo bajo sistemas productivos en las zonas de vida bh-T y bh-PM, que si bien son más complejos de analizar desde el punto de vista estadístico, se ajustan a las realidades de la producción de cacao en Colombia. El modelo MUPV1, brinda orientación a los productores de cacao, generando una mayor probabilidad de éxito para alcanzar la producción deseada.

INTRODUCCIÓN

El empleo de los modelos para la producción agrícola, inició su desarrollo desde el descubrimiento de la agricultura, en donde el hombre con la observación de la dinámica del clima, logró descubrir el momento oportuno para la siembra, a reconocer el crecimiento y desarrollo de las plantas y estar listo en el momento de la cosecha, generó estrategias para que los cultivos alcancen su producción año tras año.

La producción agrícola depende de diversos factores ambientales, biológicos y edáficos, que interactúan y son dinámicos. Para alcanzar la productividad potencial se requiere del conocimiento de los aspectos determinantes del dinamismo del sistema como también de estrategias para el diagnóstico de su estado y los rangos de variación de los mismos.

Para la construcción del modelo de nutrición en cacao, fue necesario el trabajo multidisciplinario a partir del año 2009, con el propósito de generar información de más de 40 variables de los componentes clima, suelo y planta. El modelo para la nutrición de cacao en su primera versión se concibió de carácter mixto, construido a partir de los conocimientos expertos, datos de investigación y análisis estadísticos, que permiten establecer los indicadores para alcanzar la producción potencial del cacao de manera sostenible.

El modelo contempla los limitantes que se deben superar para la producción del cacao, aun previo al establecimiento del cultivo. MUPV 1, toma en cuenta los principios de reposición y la ley del mínimo

propuestos por Liebig desde 1840, junto con la ley de los rendimientos decrecientes de Mistcherlicht, partiendo desde la interacción del medio edáfico, climático y vegetal.

Se generó con información directa tomada en campo bajo sistemas productivos en las zonas de vida de bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque húmedo premontano (bh-PM), que si bien son más complejos de analizar desde el punto de vista estadístico, se ajustan a las realidades de la producción de cacao en Colombia.

Los modelos parten de conceptos previos y de información básica y aplicada que se debe generar para establecer la relación crecimiento y desarrollo de las plantas en un ambiente dado denominando esta relación fenología del cultivo.

El modelo MNC- MUPV 1, se convierte en un sistema dinámico, que toma en cuenta los principios de los factores limitantes para el establecimiento de un cultivo, partiendo desde el medio edáfico, luego climático y de las plantas.

El crecimiento del cacao puede estar limitado por la presencia o ausencia de nutrientes en el suelo, los cambios en el clima, así como los cambios en los distintos materiales, clones o híbridos en cada zona, el manejo de su arquitectura, condiciones hídricas del suelo entre otros. El modelo permite evidenciar los posibles limitantes, para generar la solución a problemas de campo.

La productividad promedio en Colombia es de 500 Kg/Ha/año, dentro de los factores que impiden una mayor producción en los cultivos de cacao, están aquellos relacionados con las propiedades físicas y químicas, manejo del cultivo y el potencial genético de los materiales cultivados (Nakayama, 2010). En este sentido, López-Lefebre *et al.* (2002) señalan que la disponibilidad, la absorción y la distribución de nutrientes en la planta, son los factores más determinantes en la formación y distribución de biomasa, por tanto, afectan el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Según Dawoe *et al.*, (2010), la mayoría de los agricultores afirman que la fertilidad del suelo en plantaciones de cacao se mantiene a través del ciclado de nutrientes, provenientes de la descomposición de la hojarasca. Sin embargo, parece que esto no es suficiente y es necesario entender el sistema, para realizar evaluaciones más precisas y determinar las necesidades de fertilización.

El propósito de este trabajo es generar un sistema que permita la identificación de posibles limitantes para el cultivo del cacao en su relación planta-clima- suelo con base en las diferentes etapas fenológicas del cultivo, además de ofrecer una recomendación integral de nutrición para cada conjunto de condiciones presentada, con los principios de sostenibilidad.

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Los cultivos de cacao al mejorar las técnicas de manejo, riego y nutrición, pueden alcanzar rendimientos superiores a 2000 Kg ha⁻¹ año⁻¹, el componente suelo, responsable de la nutrición mineral, la cual está condicionada por la luminosidad y el agua disponible, define el nivel de disponibilidad de nutrimentos para el sistema productivo, que influirán en el crecimiento y la sanidad del cacao (vigor, tolerancia a plagas y enfermedades) que se reflejan en el rendimiento y la calidad del grano.

En los sistemas de producción de cacao a los que se aplica distintas tecnologías no resultan en producción porque se carece del concepto y de la información pertinente que la haga eficiente. Dentro de estos aspectos fundamentales los que corresponden a los requerimientos hídricos, nutricionales y de luminosidad, que dependen de la fisiología misma del cultivo, son poco conocidos, de tal manera que se afecta la eficacia de las prácticas culturales y las estrategias de manejo.

Uno de los factores que puede impactar la producción en mayor magnitud es la fertilización, en donde es importante tomar en cuenta el pH, el estado hídrico (déficit o excesos) que influyen en la disponibilidad de

nutrientes (Ribeiro et al., 2008), otros factores que limitan la producción en cacao son los relacionados con las propiedades físicas (Ramírez et. al. Sin publicar) del suelo tales como la resistencia a la penetración, la estructura y la conductividad hidráulica.

La utilización de fertilizantes sin ningún tipo de control desencadena problemas de tipo ambiental, además los altos costos han planteado preocupaciones con respecto a la sostenibilidad del cultivo de cacao, ya que los valores de producción pueden incrementar con relación a los costos del fertilizante (Araújo *et al.*, 2005). Aunque uno o más nutrientes son comúnmente aplicados en los cultivos, la cantidad de nutrientes que es removida durante la cosecha, en general es mucho mayor que la cantidad añadida (Snoeck *et al.*, 2006).

Cuando no es utilizado ningún fertilizante para suplir los nutrientes extraídos durante la cosecha, el árbol solo aprovecha las reservas minerales disponibles en el suelo y los de la descomposición y mineralización de la hojarasca, lo cual da como resultado el agotamiento de la fertilidad del suelo a largo plazo, más de 70 años (Afrifa et al., 2010), bajo esta premisa los rendimientos disminuyen debido al bajo contenido de nutrientes en el medio edáfico.

En este sentido, las investigaciones encaminadas a la búsqueda de una fertilización eficiente cobran importancia, ya que además de la disponibilidad de nutrientes existente en el suelo es necesario conocer los requerimientos en las etapas fenológicas del cultivo y las condiciones del clima los cuales determinan un real aprovechamiento de los minerales por parte del cultivo.

Para la construcción del modelo se integró toda la información referente al suelo, al cultivo (fenología) y el registro climático para encontrar las correlaciones existentes e incluirlas en la orientación general que ofrece este modelo y presentar para cada grupo de condiciones un aporte nutricional balanceado y sostenible para el sistema.

Los ambientes edáficos fueron caracterizados en sus propiedades físicas, químicas y biológicas para conceptuar su fertilidad.

La fertilidad puede referirse al conjunto de condiciones que determinan la capacidad de producción de un campo, incluyendo la oferta ambiental, y la capacidad de producción del material vegetal, es más que una medida de la riqueza nutricional del suelo. El crecimiento de las plantas depende de distintos factores que pueden ser tanto físicos, químicos, biológicos o mineralógicos, junto con los procesos de génesis y de manejo dado al sistema, en especial al suelo.

Es así como, la fertilidad del suelo integra distintos aspectos como son: las propiedades físicas, las químicas y las biológicas que se relacionan y están influenciados por la “fertilidad mineralógica” del suelo, incorporando aspectos de su material parental y procesos de génesis.

Una forma de integrar algunos de los factores que condicionan la fertilidad del suelo se presenta en la siguiente figura.



El medio de crecimiento más importante para los cultivos es el suelo, por tanto si se desea obtener altos rendimientos, calidad y rentabilidad, capaces de competir en un mercados globalizado, es fundamental entre otros factores, conocer este suelo (Suárez de Castro, 1980).

La nutrición de las plantas no solo está ligada a la oferta de elementos en el suelo, sino a la disponibilidad de estos minerales para la planta, esta disponibilidad está relacionada estrechamente con las características físicas del suelo y con el deterioro del mismo, por ejemplo la erosión que causa una reducción en los niveles de materia orgánica lo que conduce a disminuciones semejantes en la actividad microbiana, afectándose la mineralización del carbono, el nitrógeno y la disponibilidad de calcio (Arnon y Stout, 1939).

Entre los parámetros determinantes en la producción está la Fertilidad física del suelo y su relación con el desarrollo de las raíces de las plantas, dado que estas características deben permitir la exploración del mayor volumen de suelo posible. La raíz es el órgano más importante de las plantas por su relación directa con la productividad de los cultivos, debido a la capacidad de control sobre su crecimiento por medio de la absorción de agua y nutrientes, además porque las raíces proveen soporte mecánico desde su germinación y durante su desarrollo y madurez (Fageria et al, 2006). La arquitectura de la raíz es diversa, compleja y dinámica definida genéticamente pero puede ser modificada en gran medida por el tipo de suelo y las características específicas del medio en el cual se desarrolla.

Las características del suelo de las cuales depende fundamentalmente que la planta obtenga un adecuado crecimiento son el arreglo, tamaño y distribución espacial de partículas y agregados, los cuales definen en gran parte la proporción de macro y microporos responsables de la aireación, infiltración de agua, retención de humedad y flujo de calor en el suelo.

Para el cultivo de cacao, es necesario tener en cuenta su sistema radical con el fin de proporcionar las condiciones que favorezcan de manera integral el desarrollo de la planta. Este consta de una raíz pivotante a partir de la cual crecen raíces secundarias presentes en los primeros 30 cm del suelo (Miyaji *et al.*, 1997). Con relación a esto, NeSmith y Duval (1998) afirman que las plantas como respuesta a la reducción del espacio disponible para el crecimiento de la raíz, evidencian cambios morfológicos y fisiológicos; por lo cual diferentes procesos como la acumulación de biomasa, respiración, toma de nutrientes, síntesis de clorofila y la fotosíntesis se ven afectados. Además, en plantas que crecen en ambientes limitados, la formación de órganos puede verse afectada, generando así una disminución en la captura de recursos, limitando el crecimiento y reduciendo la producción (McConnaughay *et al.*, 1991).

La cuantificación de los minerales requeridos para su crecimiento y producción requiere del conocimiento del modelo de crecimiento, de la extracción por la cosecha y del estado nutricional del árbol (Leiva et al, 2011). En este sentido en cultivos establecidos de distintas edades a partir de 3 años, con base en colecta completa de árboles, se elaboró el **modelo de crecimiento** (Leiva y Ramírez, 2012) y se calculó la cantidad de nutrientes acumulada en la biomasa compartimentada del árbol y se hallaron las relaciones minerales en este sistema la secuencia de extracción corresponde a $K > Ca \geq N > Mg > P > S$. En estados de brotación y crecimiento vegetativo la relación corresponde a N: 1 a 1.2, K:1, Ca:0,9, Mg:0,4, P:0,13, S:0,06. Y en etapa reproductiva N:0,8, K:1-1.3, Ca:1, Mg: 0,4, P:0,11, S:0,06 (Leiva, 2013) obteniendo así los **requerimientos** para crecimiento y también se calculó las cantidades extraídas por tonelada de grano (Leiva, 2013; Gutiérrez et al, 2017).

El cacao puede crecer en zonas con períodos estacionales secos pero su productividad se puede ver afectada, por lo que el balance hídrico permite identificar las épocas de necesidad de riego suplementario. La cantidad de agua del sistema productivo se estudió con la **dinámica hídrica** en la relación suelo-cacao-atmósfera bajo las condiciones de bosque húmedo tropical (bh-T) en la región de Urabá Colombia, se cuantificó la transpiración determinada por la temperatura y la luminosidad PAR ésta oscila entre 2,99 y 3,23 mmol H²O m⁻² s⁻¹ (Sigindioy et al, 2017). La **actividad estomática** está relacionada con la fotosíntesis, la transpiración y la conductancia, procesos que a su vez están regulados por la cantidad de agua y aire disponible en el suelo, la temperatura ambiente y la radiación. Se observó que el mayor número de estomas abiertos se encuentra entre las 10 am y las 2 pm y se incrementa cuando hay mayor contenido de humedad en el suelo. Las mayores tasas de asimilación de CO₂ a las 12 m, cuando los valores de radiación oscilan alrededor de los 1600 μmfotones/m²/s. Después de las 2 pm aumentó el cierre estomático y se relacionó con el descenso de los valores de asimilación en las horas de la tarde (Hernández et al, 2017).

La **fenología** es el estudio de la periodicidad de eventos biológicos recurrentes, las causas de dicha periodicidad en relación a factores bióticos o abióticos. Los estudios para cacao en bh-T evidenciaron una correlación significativa ($p < 0.001$) de la floración con la precipitación, el balance hídrico y la radiación. El ritmo de crecimiento vegetativo fue determinado por el llenado y la cosecha de frutos (relación fuente – sumidero) (Gil et al, 2017). Dependiendo del balance hídrico, el positivo continuado puede permitir el crecimiento vegetativo alternado o simultáneo con reproductivo, dependiendo de la luminosidad y se puede llegar a concentrar dos cosechas con fertilización oportuna y apropiada según las necesidades del cultivo (Leiva y Ramírez, sin publicar).

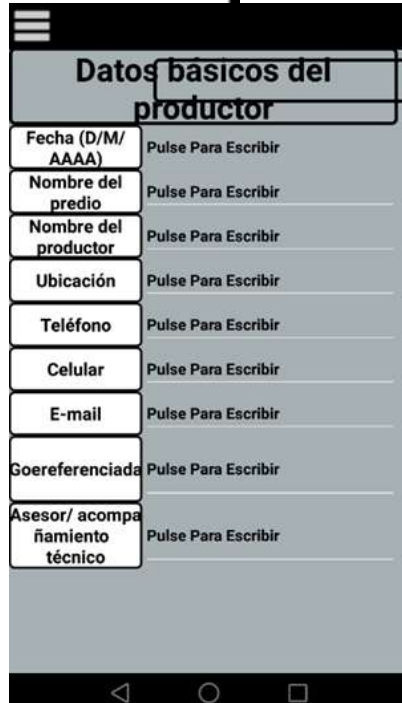
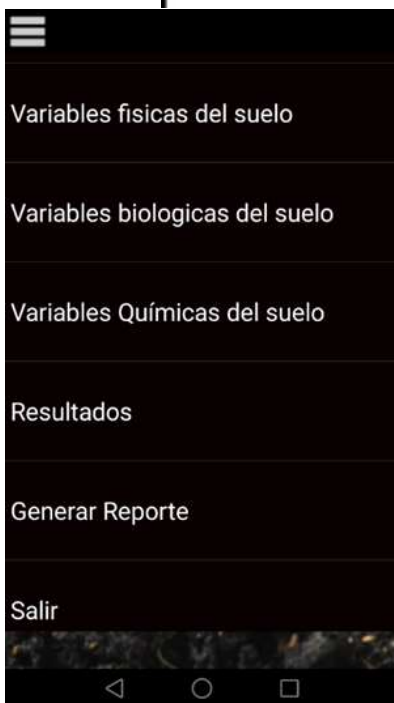
El estudio del crecimiento y desarrollo del cultivo de cacao en bh-PM y bh-T, con registro de variables meteorológicas contrastantes en precipitación, temperatura, humedad relativa entre otros, que fueron relacionadas con las variables fisiológicas, durante el 2015 (Fenómeno del niño, IDEAM) y 2016, Las variables reproductivas, floración, frutos de 0 a 2 meses, 2 a 4 meses, > 4 meses, frutos secos y el estado de crecimiento vegetativo, seguido por un periodo con incremento en la precipitación afectaron estas variables, generando la alteración en el periodo vegetativo y disminución en la producción. Se estudió el efecto de la **fertilización** sobre los componentes de rendimiento y producción. (Urueta, et al, 2017).

Para la construcción del modelo MNC-MUPV1 fue necesario el estudio de cada una de las variables que pueden limitar la producción del cultivo, con el principio del factor limitante, es así como, cuando una variable es restrictiva para el desarrollo del cacao no es posible continuar con el funcionamiento del modelo, hasta tanto está condición no sea superada.

El MNC V1, es un sistema de manejo amigable con el usuario, que permite conocer las sugerencias de una manera fácil y segura, sin grandes requerimientos, para que pueda ser empleado por los productores. Con base en el modelo conceptual se programó el MNC-MUPV1.

Reconocimiento

Se hace reconocimiento a la Gobernación de Antioquia, por su gestión y en Convenio 4600000987 con la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, con financiación del SGR, en Colombia, se realizó el proyecto Determinación de los requerimientos nutricionales del cacaotero.



Con base en la información de los análisis del suelo, foliares (si tiene mejor), estado del cultivo se entrega reporte de condiciones y recomendaciones de fertilización.

BIBLIOGRAFÍA

Afrifa A.A, Ofori-Frimpong K, Acquaye S, Snoeck D, Abekoe M.K. 2010. Soil nutrient management strategy required for sustainable and competitive cocoa production in Ghana. In 16th International Cocoa Conference Bali. (pp. 16-21).

Araújo AC, Silva MR, Midlej RR. 2005. Valor da produção de cacau e análise dos fatores responsáveis pela sua variação no estado da Bahia. Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural - SOBER, 43. 1:1-12.

Arnon, D., Stout, P.R. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plant with special reference to copper. *Plant Physiol.* (April 1939). 14(2):371-375.

Crane, J.H., Balerdi, C.F., Joyner, G. 2005. Cocoa (chocolate bean) growing in the Florida Home Landscape. Gainesville, FL: Institute of Foot and Agricultural Sciences, University of Florida. Pp.1-8

Dawoe EK, Isaac ME, Euashie-Sam J. 2010. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. *Plant Soil* 330:55-64

Fageria, N.K., V.C. Baligar and R.B. Clark. 2006: *Physiology of crop production*. Haworth Press, New York. 342 p.

Gil-Restrepo, J.P.; Leiva-Rojas E.I.; Ramírez-Pisco R., 2017. Phenology of cocoa tree (*Theobroma cacao* L.) in a tropical moist forest. *Cientifica* 45. 240-252.

Gutiérrez-Brito, E.; Leiva-Rojas,E.E.; Ramírez-Pisco, R.. 2017 El área foliar y su relación con la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) Tesis de Grado Maestría en Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Colombia.

Leiva-Rojas, E.I.; Alvarez, D.J.; Ramírez 2011.Diagnóstico del estado nutricional del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Memorias (ISSN0120-0682) .XLI Congreso Nacional COMALFI "fisiología en laproduccion de plantaciones agricolas"* p.79

Leiva-Rojas, E.I.; Ramírez-Pisco, R.. 2012. Crecimiento del cacao (*Theobroma cacao* L) en distintas zonas de vida. *Memorias (ISSN 2248-6674) XLLII Congreso Anual COMALFI*. 80 P.

Leiva -Rojas, E.I. 2013. Determinación de la correspondencia de la hoja cuatro con el estado nutricional del árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis de Doctorado en Ciencias Agrarias

López-Lefebvre L, Rivero R, García R, Sánchez E, Ruiz J, Romero L. 2002. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. *J. Plant Nutr.* 25(3):509-522.

Miyaji, K.I., da Silva W.S., Alvim P de T. 1997. Longevity of leaves of a tropical tree, *Theobroma cacao*, grown under shading, in relation to position within the canopy and time of emergence. *New Phytol* 135(3):445-454.

Nakayama, L. H. 2010. Avaliação do estado nutricional das combinações híbridas de cacau cultivado no Latossolo Amarelo Distrofio Típico. *Agrotropica* 22(1):5 – 10.

Ribeiro MAQ, da Silva JO, Aitken WM, Machado RCR, Baligar VC. 2008. Nitrogen use efficiency in cacao genotypes. *Journal Plant Nutrition* 31:239-249.

Sigindioy L.M.; Leiva-Rojas.E.I.; Ramírez-Pisco,R.2017 Dinámica hidrica del cacao (*Theobroma cacao* L.) en bh-t . En prensa.

Snoeck D, Abekoe MK, Afrifa AA, Appiah MR. 2006. The soil diagnostic method for formulating fertilizer requirements on cocoa in Ghana, p 387-394. In 15th International Cocoa Research Conference. San José, Costa Rica. COPAL, ed.

Suárez de Castro, F.1980. Conservación de suelos. San José. C.R : IICA. 1980. 315 p