

Efecto del NPK del suelo y el piso altitudinal en la acidez del mucílago del cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) en Copallín, Bagua, Amazonas

Idrogo, Guillermo; Zuta-Chamoli, Veronica; Mori-Mestanza, Diner;
Culqui, Carlos; Muñoz, Lucas

Guillermo Idrogo
Veronica Zuta-Chamoli
Diner Mori-Mestanza
Carlos Culqui
Lucas Muñoz

Revista Pakamuros
Universidad Nacional de Jaén, Perú
ISSN: 2306-9805
ISSN-e: 2522-3240
Periodicidad: Trimestral
vol. 11, núm. 1, 2023
pakamuros@unj.edu.pe

Recepción: 18 Noviembre 2022
Aprobación: 04 Febrero 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/688/6884342002/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Resumen: El área de cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) se ha venido incrementando debido a que se utiliza en la agroindustria, sin embargo, hay escasa información sobre el contenido de nutrientes NPK en relación a los factores de altitud y grado de acidez del cacao. El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos del contenido de nutrientes NPK del suelo y el factor altitudinal, con el grado de acidez del mucílago del cacao, teniendo en cuenta que esta característica es responsable de los posteriores procesos de fermentación del cacao. La investigación se desarrolló con el apoyo de (APROCAM) la Cooperativa de Servicios Múltiples ubicada en Bagua-Amazonas. Para llevar a cabo esta investigación se ajustó a un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial, considerando 9 tratamientos por repetición, además se realizó un muestreo aleatorio estratificado. Los efectos principales entre pisos altitudinales y los niveles de NPK del suelo, no reportaron diferencia significativa estadística entre las variables estudiadas.

Palabras clave: Nutrientes, cacao fino de aroma, altitud, acidez, mucílago.

Abstract: The cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivation area has been increasing due to its use in agro-industry, however, there is little information on the NPK nutrient content in relation to altitude and degree of cocoa acids. The objective of this research was to evaluate the effects of the NPK nutrient content of the soil and the altitudinal factor, with the degree of acidity of the cocoa mucilage, taking into account that this characteristic is responsible for the subsequent cocoa fermentation processes. The research was developed with the support of (APROCAM) the Multiple Services Cooperative located in Bagua- Amazonas. To carry out this investigation, a completely randomized block design with a factorial arrangement was adjusted, considering 9 treatments per repetition, in addition a stratified random sampling was carried out. The main effects between altitudinal and soil NPK levels did not report statistically significant difference between the variables studied.

Keywords: Nutrients, fine aroma cocoa, altitude, acidity, mucilage.

EFECTO DEL NPK DEL SUELO Y EL PISO ALTITUDINAL EN LA ACIDEZ DEL MUCÍLAGO DEL CACAO CRIOLLO (*THEOBROMA CACAO* L.) EN COPALLÍN, BAGUA, AMAZONAS

INTRODUCCIÓN

Los elementos conocidos como nutrientes de las plantas, que se encuentran disponibles en el suelo, determinan, en peso, la producción de material vegetal como es el caso del cacao, pues su deficiencia origina algunos cambios en la composición bioquímica de los cotiledones, ya que el metabolismo del nitrógeno de la planta es sensible al medio ambiente, pudiendo ser evaluada por la cantidad de fertilizante nitrogenado aplicado debido a su relación directa con el rendimiento obtenido (Quiroz, 2012), este factor contribuye a las diferencias de sabor del cacao (CAOBISCO/ECA/ FCC, 2015; Torres, 2012). También (Suárez et al., 2021) indican que hay otros factores que influyen en el cultivo del cacao como la radiación solar, la altitud y el genotipo del cultivo. Por otra parte, Van Vliet y Giller, (2017) mencionan que el efecto de la fertilización utilizando N, P y K sobre el contenido fisicoquímico de las plantas, hace que el contenido de clorofila alfa, clorofila beta y los carotenoides aumenten, generando a un acrecentamiento en la tasa fotosintética, también tiene influencia en la concentración de carbohidratos, así también con la síntesis de pigmentos y la síntesis de proteínas que aumentan según aplicación de los fertilizantes.

Según Afari-Sefa et al, (2011), el nitrógeno y fósforo se encuentran presentes en el suelo de forma orgánica y es beneficiada por la hojarasca, las prácticas de manejo del cultivo de cacao son factores que intervienen en el rendimiento del cacao. Según Hartemink and Donald (2005) en la hojarasca se encuentra un 20% a 45% del Nitrógeno en un promedio anual y entre el 2% y 3% en el suelo, pues este elemento es importante ya que estimula la producción de hojas, en ausencia de sombra y genera una mayor concentración de clorofila, además de una mayor eficiencia fotosintética, entonces, se puede hacer un mejor uso del aumento radiación en ausencia de sombra. En este contexto Van Vliet & Giller, (2017) indican que el contenido de la clorofila en las hojas aumenta cuando los nutrientes están en un suministro adecuado, es necesario tener en cuenta que el pH óptimo del suelo para cultivar cacao va de 6.0 – 7.0; sin embargo pueden resistir condiciones ácidas siempre y cuando el suelo presente proporciones adecuadas de nutrientes, por lo general la producción de cacao genera la acidificación de los suelos, en ese sentido la aplicación de estiércol de pollo suele aumentar el pH. Por otro lado, Hartemink and Donald (2005) mencionan que el fósforo se encuentra entre 10% a 30% en la vegetación y 10% a 40% en el suelo, en cambio el potasio se puede encontrar en una concentración de 15% en la vegetación y 10% a 20% de en el suelo. La velocidad a la que los nutrientes regresan al suelo a través de la caída de la hojarasca disponible para la absorción de la planta depende de las tasas de descomposición, por consiguiente, la aplicación de fertilizantes otorga un impacto positivo en el suelo y se hace más fuerte en ausencia de sombra. Teniendo en cuenta que la estructura del cacao tiene relación con los nutrientes,

Fontes et al. (2014) indican que en la cáscara se puede encontrar nutrientes, por lo que la devolución al suelo en forma de compostaje mejora las características nutricionales ya que aporta N, P y K. En este sentido (Gockowski et al., 2013; Ofori-Frimpong et al., 2007; Ahenkorah et al., 1987) mencionan que las hojas que caen al suelo también aportan nutrientes.

Así pues, el nitrógeno influye en el enrojecimiento de las hojas, estimula el crecimiento de plántulas jóvenes y formación de jorquette en interacción con la aplicación de potasio y magnesio; también el nitrógeno puede ser deficiente cuando el fósforo está fácilmente disponible, lo que conducirá a una mayor demanda de fertilizantes nitrogenados. El 10-20% de Fósforo que se aplica como fertilizante es absorbido por los cultivos en el primer año después de la aplicación, el resto se mantiene en el suelo y se vuelve disponible gradualmente en los años subsiguientes por lo que se va convirtiendo en un stock disponible a lo largo del tiempo; también el potasio se encuentra en la biomasa del cacao, cuyo papel radica en que participa en la translocación de carbohidratos y aumenta la tolerancia al estrés hídrico (Herrera et al., 2022).

El potasio en las hojas es altamente soluble porque está en el citoplasma de la célula mayormente debido a esto hay mayor disponibilidad en el suelo por lavado de lluvia o liberación rápida; sin embargo, el uso de fertilizantes orgánicos en forma de compostaje (para evitar enfermedades de vaina negra) tienen ventaja sobre los fertilizantes NPK (Adejobi et al 2014).

En cuanto a la calidad del suelo, Álvarez et al. (2002) señalan que el valor del pH se relaciona con la concentración de ácido cítrico del mucílago y del fruto en etapa poscosecha, frente a esto Caballero et al. (2016) indican que el contenido de acidez determina los atributos de calidad del cacao, por lo que los resultados obtenidos en cuanto a su contenido, es muy importante para la industria dedicada a la transformación de los chocolates, las almendras del cacao presentan una acidez mayor al 1%, con base en ácido acético en la etapa de fermentación.

El Perú ha logrado un crecimiento del 14.5% en las exportaciones (MINAGRI, 2021), sin embargo, en cuanto se refiere a la tecnología del manejo del cultivo, no está muy claro para el agricultor el efecto de los nutrientes que son aplicados al suelo en el momento del cultivo y la consecuencia en la calidad del mucílago o baba; es por ello que en la presente investigación se evaluaron los efectos del contenido de nutrientes NPK del suelo y el factor altitudinal, con el grado de acidez del mucílago del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Copallín, Bagua, Amazonas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en 13 parcelas, con la participación de 14 socios productores de cacao criollo de APROCAM Cooperativa de Servicios Múltiples, correspondientes al distrito de Copallín, provincia de Bagua de la Región Amazonas. Para la experimentación se utilizaron las plantas conocidas como cacao nativo fino de aroma (*Theobroma cacao* L.) con una edad comprendida entre 5 y 10 años en plena producción y con un promedio de peso de cocos o mazorcas de 912.3 g; estas mazorcas presentaron una forma alargada con una punta pronunciada, ligeramente arqueada y aguda. De cada parcela se tomaron seis muestras tanto de cacao como de suelo; cada punto muestreado se ubicó a 01 metro de distancia de la planta de cacao, el mismo que fue georreferenciado, la muestra de suelo se extrajo de una calicata hecha a una profundidad de 25cm, de acuerdo a la fisiología y morfología de la planta de cacao (Batista 2009; CATIE 1999).

Los análisis de las muestras de suelos se realizaron en el laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, con la finalidad de conocer el contenido de N, P y K.

Diseño de la investigación: Se realizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial. Para el tamaño de muestra dentro de cada estrato (altitud) se empleó el método de proporciones. Cada unidad experimental se estableció de acuerdo con las parcelas cacaoteras y a la topografía del terreno, la asignación de los tratamientos se realizó en forma aleatoria (López & González, 2013); por lo tanto, el número de unidades experimentales fueron 45 (9 tratamientos x 5 repeticiones) y el número total de observaciones fueron 90.

Se consideró el factor altitud A1=zonas menores a 700msnm; A2=700msnm-1000msnm y A3 zonas mayores a 1000msnm; el factor B consideró niveles de NPK B1=Bajo, B2=medio y B3=alto.

Se seleccionaron 6 plantas por cada parcela y de cada parcela se seleccionó una mazorca de manera aleatoria, se realizó la georreferenciación de la parcela, se tomó 01 muestra de suelo de una calicata ubicada a 01 m de distancia del tallo o tronco de la planta de cacao y a 25 cm de profundidad. De la misma planta seleccionada y georreferenciada de cacao se recolectó al azar un fruto o "mazorca", del cual se extrajo 20g de mucílago el mismo día de la cosecha y se colocó a -20°C en una congeladora del Laboratorio de APROCAM, para evitar el inicio de la fermentación. El total de las muestras se trasladaron a los laboratorios respectivos de la UNTRM para los análisis correspondientes.

Los datos obtenidos fueron procesados mediante el programa estadístico SAS, y sometidos a un análisis de varianza (ANVA) al 5 % de significancia mediante la prueba de Tukey.

RESULTADOS

Los suelos cacaoteros del distrito de Copallín, presentan una textura predominantemente arcillosa y en una menor cantidad de suelos con textura franco arcillo arenosa. Con respecto al pH, se encontró que oscila entre los valores de 5.77 y 8.35; predominando los suelos con pH cercanos a 8.35 aquellos que se encontraban por debajo de los 500 msnm. La capacidad de intercambio catiónico varía entre 23.4 y 36.13 meq/100g de suelo. Además, la Tabla 1 muestra el análisis de varianza con el coeficiente de variabilidad de 41.273%, la varianza alcanza un valor de 0.352, lo cual evidencia la conducción óptima del estudio realizado en campo, asimismo los tratamientos muestran una acidez media de mucílago de 2.826%. En la Tabla 1 se aprecia que la interacción fertilizante frente al piso altitudinal no presenta diferencia estadística significativa.

TABLA 1
Análisis de varianza (ANVA) para la variable grado de acidez del mucílago de cacao según Altitud, Niveles de fertilizantes NPK del suelo y sus interacciones (Altitud x Fertilizantes).

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	12	23.69257213	1.97438101	1.45	0.1946
Bloques	4	16.22188209	4.05547052	2.98	0.0337
Altitud	2	0.45653284	0.22826642	0.17	0.8463
Fertilizantes	2	0.03190324	0.01595162	0.01	0.9883
Altitud*Fertilizan	4	6.98225396	1.74556349	1.28	0.2973
Error	32	43.54355551	1.36073611		
Total corregido	44	67.23612764			

$$CV = 41.273\% \quad R^2 = 0.352 \quad DS = 1.66 \quad \text{Acidez Media} = 2.826$$

En la Figura 1 observamos las medias de la variable grado de acidez del mucílago de cacao según Niveles de Fertilizantes NPK del suelo en la que podemos observar que el nivel de fertilizantes bajo obtuvo un menor valor en cuanto a la acidez del mucílago del cacao que es de 2.790% y los mayores valores en grado de acidez lo obtuvieron con los niveles de fertilizantes medio (B2) y fertilizantes alto (B3) con 2.856% y 2.832%, respectivamente.

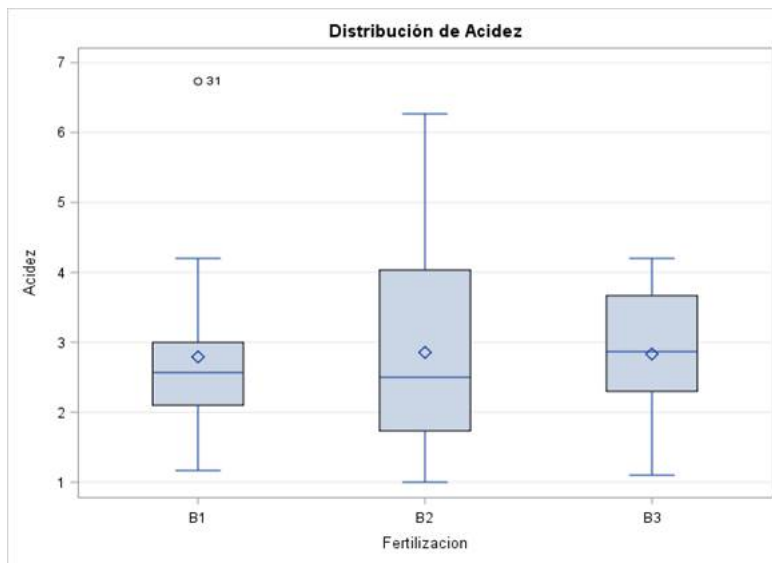


FIGURA 1.

Comparación de medias de la variable grado de acidez del mucílago de cacao según Niveles de Fertilizantes NPK del suelo.

En la Figura 2 se puede apreciar una comparación de medias de la variable grado de acidez del mucílago de cacao según Pisos Altitudinales, se observa que el piso altitudinal bajo obtuvo un menor valor en cuanto a la acidez del mucílago del cacao que es de 2.700% y los mayores valores en grado de acidez lo obtuvieron los pisos altitudinales medio (A2) y alto (A3) con 2.951% y 2.823%, respectivamente.

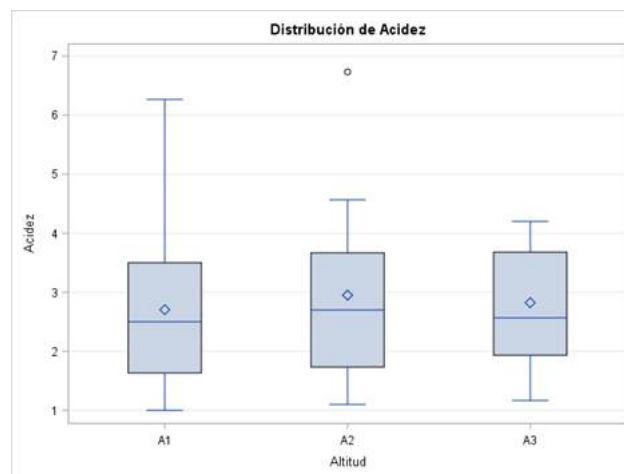


FIGURA 2.

Comparación de medias de la variable grado de acidez del mucílago de cacao según Pisos Altitudinales.

En la Tabla 2, se observa una comparación de medias de la variable grado de acidez del mucílago de cacao por pisos altitudinales según Tukey al 95% de confianza, en la que se muestran los datos agrupados de manera homogénea.

TABLA 2.
Comparación de medias de la variable grado de acidez del mucílago de cacao por Piso altitudinal según Tukey a 95% de confianza.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Agrupamiento
A2	2.951	15	1.361	A
A3	2.823	15	1.361	
A1	2.700	15	1.361	A

DISCUSIÓN

En la investigación realizada se observó que las variables: grado de acidez del mucílago de cacao, los pisos altitudinales y los nutrientes NPK, no presentan diferencia significativa. Estos resultados se relacionan con lo estudiado por Sánchez et al. (2005), quienes analizaron materiales combinados genéticamente de cacao y no reportaron efectos en la aplicación de distintas dosis 50, 100, 200, 400%, de fertilizante nitrógeno, fósforo y potasio frente al rendimiento; sugiriendo que las causas de este comportamiento era la gran variedad del material vegetal existente. Por su parte Dogbatse et al. (2021) evaluaron el efecto del nutriente del suelo en el cultivo del cacao, en la cual se evidenció que entre los tratamientos no se mostraron diferencias significativas en el N y K del suelo, sin embargo, indican que el uso del estiércol de aves de corral combinado con el sulfato de amonio, sería una alternativa para mejorar los resultados del área foliar del cultivo.

Herrera et al. (2022) realizaron un estudio en diez localidades colombianas para evaluar diferentes dosis de fertilizante en relación a la calidad del cacao, reportando que no encontraron diferencias significativas con relación al tratamiento testigo en el cual no se colocó fertilizante.

La investigación permitió realizar la evaluación de la influencia del contenido de fertilizantes NPK del suelo con el grado de acidez del mucílago del cacao, dichos resultados indican que el nivel bajo de fertilizantes presentó un menor valor en cuanto a la acidez del mucílago del cacao que fue de 2,790% y los mayores valores en porcentaje de grado de acidez lo obtuvieron con los niveles de fertilizantes medio (B2) y fertilizantes alto (B3) con 2.856% y 2.832%, respectivamente. Este resultado tiene alguna relación con la información recogida de los propios cacaoteros, quienes manifestaron durante la fase de campo que, en los cacaos mejor fertilizados el mucílago es de mejor calidad. Teniendo en cuenta la importancia que se le atribuye al mucílago para las siguientes etapas de fermentación de la almendra del cacao, lo cual se confirma con los comentarios efectuados por Álvarez et al. (2002), en la que indican que el

Importar imagen

mucílago interviene en la fermentación del cacao y la formación de las sustancias antecesoras del sabor y aroma del chocolate. Por otro lado, es preciso tener en cuenta el papel que cumple uno de los fertilizantes evaluados, el Nitrógeno del suelo, que cuando está en la planta forma parte de los constituyentes nutritivos de las plantas como proteínas, fosfolípidos, enzimas, entre otras moléculas y cuando falta, limita el crecimiento de las plantas. También y concordante con los resultados de la investigación, Ortiz y Álvarez (2015) reportaron que no existe efecto de los tratamientos sobre el nivel nutricional de las hojas de los árboles de cacao, al utilizar fertilizantes en el suelo, aunque el nivel de nutrientes del suelo si tuvieron diferencias, sin embargo, no hubo mayor producción de fruto ni de almendras en el interior del fruto, en cambio sí hubo un incremento en el peso del fruto y en el porcentaje de humedad de las semillas. Al comparar los tratamientos, se conoció que el potasio generó un aumento de peso de las almendras del cacao en comparación con el tratamiento con Nitrógeno-roca fosfórica- potasio y que el tratamiento con nitrógeno solamente. En la

investigación realizada por Latsague, et al. (2011) mencionan que la concentración de las proteínas accesibles totales se incrementa ampliamente en las hojas en las que se utilizó fertilizante en base a nitrógeno, potasio y fósforo, teniendo como control a un testigo.

Respecto a la influencia de la altitud en el grado de acidez en el mucílago del cacao, se evidenció que la comparación de medias de la variable grado de acidez del mucílago de cacao por pisos altitudinales según Tukey a 95% de confianza, no presentó diferencias significativas, aunque se observan diferencias matemáticas que indican que en el piso altitudinal bajo (A1) se obtuvo un menor valor en cuanto a la acidez del mucílago del cacao que fue de 2.7% y los mayores valores en grado de acidez lo obtuvieron los pisos altitudinales medio (A2) y alto (A3) con 2.951% y 2.823%, respectivamente, lo cual se acerca a la información verbal de los cacaoteros de la zona muestreada, quienes mencionan que el cacao nativo de altura presenta mejores características en cuanto calidad y aroma de buen sabor. Así mismo, Brunnetto de Galignani (2014) en un trabajo de investigación reportó acerca de los contenidos de monosacáridos para el día cero (cacao sin fermentar) y para el día tres de fermentación en diferentes variedades de cacao estudiadas, en la que se observó que, si la concentración inicial de sacarosa en los granos sin fermentar es alto, entonces mayor es el contenido de fructosa y glucosa al tercer día de la fermentación. También se evidenció diferencias significativas en el contenido de los monosacáridos relacionada a las diversas variedades de cacao evaluadas: Merideño San Juan y Zea, que son cacaos genéticamente equivalentes, pero que fueron cultivados en diferentes zonas. Concluyendo así que el factor edafoclimático influye en las concentraciones de fructuosa, sacarosa y glucosa en el cultivo y cosecha del cacao.

En la interacción del contenido de fertilizantes NPK del suelo con el Piso Altitudinal en el grado de acidez en el mucílago del cacao en la comparación de medias de la variable grado de acidez del mucílago de cacao se observa que la interacción piso altitudinal bajo y Nivel bajo de fertilizantes NPK (T1) obtuvo un menor valor en cuanto a la acidez del mucílago del cacao que es de 2.260% y los mayores valores en grado de acidez lo obtuvieron las interacciones piso altitudinal alto con nivel alto de fertilizantes NPK (T9) y piso altitudinal medio con nivel bajo de fertilizantes NPK (T4) alcanzando valores de 3.170% y 3.680% respectivamente y, según Tukey a 95% de confianza, se muestran los datos para comparación de medias usando la prueba de diferencia significativa honesta de Tukey al 95% de confianza, donde se observa un solo grupo (A) para las interacciones Piso Altitudinal por Niveles de Fertilizantes NPK del suelo en relación a la variable grado de acidez del mucílago de cacao, relacionándose favorablemente con lo discutido en los párrafos anteriores.

CONCLUSIONES

El efecto de las variables evaluadas Niveles de Fertilizantes NPK en el suelo y Pisos Altitudinales, así como las interacciones, no presentaron significancia estadística.

Con respecto a la variable Pisos Altitudinales no se aprecia la relación estadística con la acidez del mucílago. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es de 41.273% y la varianza alcanza un valor de 0.52; lo cual evidencia la conducción óptima del estudio realizado en campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adejobi, K., Akanbi, O., Ugioro, O., Adeosun, S., Mohammed, I., Nduka, B., Adeniyi, D., (2014). Comparative effects of NPK fertilizer, cowpea pod husk and some tree crops wastes on soil, leaf chemical properties and growth performance of cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Afr. J. Plant Sci.* 8, 103–107.
- Afari-Sefa, V., Gockowski, J., Agyeman, N. F., & Dziwornu, A. K. (2011). Economic cost-benefit analysis of certified sustainable cocoa production in Ghana. *Journal of Gender, Agriculture and Food Security*, 1(3), 1–22.
- Ahenkorah, Y., Halm, B., Appiah, M., Akrofi, G., Yirenkyi, J., (1987). Twenty years' results from a shade and fertilizer trial on Amazon cocoa (*Theobroma cacao*) in Ghana. *Exp. Agric.* 23, 31– 39

- Álvarez C.; Pérez E.; Lares M. (2002). Morfología de los frutos y características físico – químicas del mucílago del cacao de tres zonas del estado de Aragua. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Batista L. (2009). Guía Técnica, el Cultivo de Cacao. Santo Domingo, República Dominicana.
- Brunetto de Gallignani, Orozco C., Delgado C., Clavijo R., Gallignani de Bernardi, Ayala M., Zambrano G. (2014). Desarrollo de un método analítico para la determinación de glucosa, fructosa y sacarosa en muestras de cacaos criollos venezolanos. Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Estado Mérida, Venezuela.
- Caballero P., J.F, Avendaño A., C.H., Gonzáles A., N.A. y López E., S. (2016). Influencia del tipo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las características del fermento y secado. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- CAOBISCO / ECA / FCC. (2015). Cacao en Grano: Requisitos de Calidad de la Industria del Chocolate y del Cacao. University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad.
- CATIE. (1999). Estudio del sistema radicular del árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.). Costa Rica Dogbatse, J. A., Arthur, A., Awudzi, G. K., Quaye, A. K., Konlan, S., & Amaning, A. A. (2021). Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth and Nutrient Uptake by Young Cacao (*Theobroma cacao* L.). *International Journal of Agronomy*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5516928>.
- Fontes, A., Gama-Rodrigues, A., Gama-Rodrigues, E., Sales, M., Costa, M., Machado, R., (2014). Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. *Plant Soil* 383, 313–335.
- Hartemink, A. E.: Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: A Review, *Adv. Agron.*, 86, 227–253, (2005).
- Herrera, R., Vásquez, S., Granja, F., Molina-Müller, M., Capa-Moroco, M., & Guamán, A. (2022). Interacción de N, P Y K sobre características del suelo, crecimiento y calidad del cacao en la Amazonía Ecuatoriana. *Bioagro*, 34(3), 277–288.
- Latsague M., Sáez P., Mora M. (2011). Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hook.f. Universidad Católica de Temuco y Universidad de Concepción. Chile.
- López, E., & González, B. (2013). Diseño y análisis de experimentos fundamentos y aplicaciones en agronomía. Guatemala: Mundi prensa.
- MINAGRI. (2021). Reporte estadístico cacao, Diciembre (2021). Retrieved from https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3203553/REPORTE_ESTADÍSTICO_CACAO_2021_DICIEMBRE.pdf?v=1654287315.
- Ofori-Frimpong, K., Asase, A., Mason, J., Danku, L., (2007). Shaded versus unshaded cocoa: implications on litter fall, decomposition, soil fertility and cocoa pod development. In: Symposium on Multistrata Agroforestry Systems with Perennial Crops, CATIE Turrialba, 2007 Costa Rica, pp. 17–21.
- Ortiz V., K.L. y Álvarez L., R. (2015). Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, Municipio de Yaguará, (Huila). Colombia.
- Quiroz V., J. (2012). Influencia de la agronomía y cosecha sobre la calidad del cacao. INIAP, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Ecuador.
- Sánchez, L.; Parra, D.; Gamboa, E. y Rincón, J. (2005). Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con N P K, en el sureste del estado Táchira, Venezuela. En: *Bioagro* 17(2): 119-122. Nota Técnica.
- Suárez, J. C., Gelpud, C., Noriega, J. E., & Ortiz-Morea, 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). <https://doi.org/10.3390/agronomy11071422>.
- Taiz L. y Zeiger E. (2006). Fisiología vegetal. Vol I. Publicaciones de la Universitat Jaume I Castellón. España.
- Torres M., M. (2012). Influencia de las características y procesamiento del grano de cacao en la composición físico - química y propiedades sensoriales del chocolate negro. Tesis doctoral. Universitat Rovira I Virgili, Departamento de Bioquímica y Biotecnología. Cataluña, España.

Van Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. In *Advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 141). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>