



## Nano fertirrigación de cacao en campo incluyendo análisis de eficiencia de aplicación del sistema

### Nano fertigation of cocoa in the field including analysis of system application efficiency

Manuel Oliva-Cruz<sup>1</sup>, Jesús M. Salazar Hinostroza<sup>2</sup>, Jorge Armando Mendoza Galo<sup>2</sup>,  
Leny Dolores Arévalo Payahua<sup>2</sup>, Gilder Meza Pérez<sup>2\*</sup>

#### RESUMEN

Esta investigación se realizó en el fundo "El Codo", el distrito de Pajarillo, provincia de Mariscal Cáceres, en el Departamento de San Martín. Se evaluó el efecto de la aplicación de nanoburbujas en un sistema de fertirrigación para la productividad del cacao clon CCN-51, con el fin de optimizar absorción de los nutrientes en el cultivo de cacao. Para ello, se evaluaron diversos parámetros agronómicos, el nivel nutricional, así como la incidencia de enfermedades en el cultivo de cacao CCN 51, utilizando equipos de emisor de nano burbujas por electrolisis. Con esto, se buscó validar una tecnología adecuada para el uso en los sistemas de fertirriego. De la investigación, se pudo determinar que el índice de mazorca fue estable en todos los tratamientos con un valor de 16,2. Además, con la aplicación de nano burbujas se mitigó la incidencia de enfermedades en casi un 4,28%. Por último, se logró incrementar la productividad en 947,42 kg/ha, lo que significa un 18,4% más respecto a la productividad inicial y un 11,9% respecto a la producción del testigo para los tratamientos de aplicación de riego.

**Palabras clave:** cacao, fertirrigación, fertilización orgánica, fertilización inorgánica.

#### ABSTRACT

This research was carried out at "El Codo" farm, Pajarillo district, Mariscal Cáceres province, in the Department of San Martín. The effect of the application of nanobubbles in a fertigation system on the productivity of cocoa clone CCN-51 was evaluated in order to optimize the absorption of nutrients in the cocoa crop. For this purpose, several agronomic parameters, the nutritional level, as well as the incidence of diseases in the CCN 51 cocoa crop, were evaluated using nano bubble emitter equipment by electrolysis. The aim was to validate a technology suitable for use in fertigation systems. From the research, it was determined that the ear index was stable in all treatments with a value of 16.2. In addition, the application of nano bubbles mitigated the incidence of diseases by almost 4.28%. Finally, productivity was increased by 947.42 kg/ha, which is 18.4% more than the initial productivity and 11.9% more than the production of the control for the irrigation application treatments.

**Keywords:** cocoa, fertigation, organic fertilization, inorganic fertilization.

<sup>1</sup>Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Chachapoyas, Perú.

<sup>2</sup>Kamos del Peru SAC, La Banda de Shilcayo, Perú.

\*Autor de correspondencia. E-mail: mezaperezgilder@gmail.com

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el cultivo de cacao en el Perú, tiene una superficie aproximada de 160 mil hectáreas, con una producción de 135 mil toneladas y una productividad media de 843 kg/ha, siendo San Martín el principal productor con 48390 t, seguido de Junín con 25500 t (MINAGRI, 2015b; Charry *et al.*, 2020; López Cuadra *et al.*, 2020). Dentro del departamento de San Martín, el promedio de hectáreas por agricultor de cacao es de 1,5 ha (INEI, 2019; MINAGRI, 2015b). En los últimos años, la siembra de nuevas hectáreas se ha reducido, debido a que, cada vez se encuentra menos terrenos aptos para el cultivo (Abdulai *et al.*, 2018; Vargas, 2021). Esta problemática en el campo, induce a mejorar las unidades productivas existentes con tecnologías que ayuden a incrementar la productividad, respetando y conservando la fertilidad de los suelos (Ochoa *et al.*, 2018; Akintelu *et al.*, 2019).

La producción de cultivo de cacao en América Latina, de donde es originario este fruto, representa aproximadamente el 15% de la producción mundial (Sánchez Arizo *et al.*, 2019). A pesar de producir principalmente, productos a base de cacao fino de aroma, denominación que se aplica a una producción de calidad especial, la cacaocultura en esta región se enfrenta a numerosos retos (Gateau-Rey, *et al.*, 2018; Mata Anchundia *et al.*, 2018; Oliva y Maicelo Quintana, 2020; Oliva-Cruz *et al.*, 2021). Entre los retos más importantes, están las prácticas agronómicas inadecuadas sobre el cultivo, la baja productividad por hectárea y la poca rentabilidad que genera esta actividad a los cacaoteros y sus familias (Vásquez-Barajas *et al.*, 2018; Akrofi-Atitianti *et al.*, 2018; Hoffmann *et al.*, 2020). Dentro de los clones más difundidos en los departamentos productores de cacao en Perú, destaca el clon CCN-51, debido a sus características agronómicas, su mayor resistencia a enfermedades y su gran rendimiento por hectárea (Anzules-Toala *et al.*, 2019; Chire-Fajardo *et al.*, 2020).

Una forma de mejorar la producción en la actualidad, incluida la del clon CCN-51, es mejorar las tecnologías de riego y fertilización (Saravia-Matus *et al.*,

2020; García *et al.*, 2021; Martínez y Pachón, 2021). Estas mejoras en las tecnologías, mejoran la productividad, por tanto, pueden incrementar la asimilación del nutriente por la planta (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019; Seutra Kaba *et al.*, 2021). Por ejemplo, con la fertilización granulada la planta asimila el 40% de los nutrientes, con el fertirriego + fertilización granulada la planta asimila el 60%, y con el fertirriego se logra una asimilación del 70% de los nutrientes (Głab *et al.*, 2020; Thakur *et al.*, 2020; Sadhukhan *et al.*, 2021).

La baja asimilación de nutrientes con las fertilizaciones, en especial la granulada, es causada por la reacción de los fertilizantes con las propiedades del suelo, la baja cantidad de raíces activas de la planta y la limitada disponibilidad de los nutrientes en las etapas fenológicas del cultivo. Esto trae como consecuencia frutos de baja calidad y poca cantidad de estos (Andrews *et al.*, 2021; Dogbatse *et al.*, 2021; Rosas-Patiño *et al.*, 2021). También favorece la propagación de enfermedades como la moniliasis, la escoba de bruja, o la pudrición parda, que afectan el rendimiento de las plantas (Leiva *et al.*, 2020; Polanco *et al.*, 2020; Second *et al.*, 2021; Sousa Filho *et al.*, 2021). Se estima que la planta de cacao puede llegar a producir encima de las 2,5 t/ha (Balcázar, 2020). Sin embargo, los rendimientos encontrados en el departamento de San Martín, están entre 0,5 a 1,2 t/ha por planta (León Gutiérrez, 2021).

Por todo lo dicho anteriormente, el objetivo de esta investigación fue la evaluación del efecto de las nanoburbujas por electrolisis con sistema de fertirriego en la productividad del cacao CCN-51. Para conseguirlo, se evaluaron los parámetros agronómicos del sistema de fertirriego como Índice de mazorcas, horas de saturación de nanoburbujas en el agua de riego. Posteriormente, se determinaron los niveles nutricionales de suelo y hoja. Por último, se evaluó la incidencia de enfermedades (Escoba de Bruja, Moniliasis, Pudrición Parda) y la productividad del cacao CCN-51, bajo las condiciones de fertirriego establecidas.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el fundo “El Codo” de propiedad de la Sra. Ysabel Pérez Arévalo, socia de la Asociación de Productores Agropecuarios Ishanga en el distrito de Pajarillo, Provincia de Mariscal Cáceres, Departamento de San Martín, con coordenadas 7°10'10,33” S y 76°41'13,56 W.

La investigación se realizó en una superficie de 4,212 m<sup>2</sup>, con 6 plantas netas y 14 plantas bordes, por cada unidad experimental. Todos los tratamientos fueron con el clon CCN 51, con una edad de 10 años. El campo fue dividido en tres bloques. Las plantas estaban distanciadas entre sí tres metros por tres metros, en un sistema cuadrado.

### Características Físicas del Suelo

La topografía del terreno es ligeramente plana entre 1 – 2%, presentando en las zonas aledañas una quebrada y colina suave, posee un buen estado de drenaje natural.

### Factores de estudio

El factor principal del estudio fue la adopción de nano burbujas por electrolisis en sistemas de fertirrigación para cultivos de cacao, con un solo clon de cacao, el clon CCN-51.

### Tratamientos en estudio

Los tratamientos del estudio, se especifican en la tabla 1S.

### Módulo de riego

El sistema de riego por goteo fue distribuido en una línea de goteo por hilera de planta, con cuatro goteros por planta, separados 0,5 metros entre cada uno (Figura 1S). El caudal de operación fue de 4 litros por hora. La presión de operación fue de un bar.

### Análisis de suelo

Se tomaron muestras de suelo antes de realizar el trabajo de campo, para ello se recolectó 25 sub muestras, a una profundidad de 20 cm, que se homogenizaron en un balde esterilizado con alcohol de 70°. Luego se tomó aproximadamente un kilogramo y se rotuló en una bolsa ziploc indicando el nombre del fundo, el tipo de cultivo, la profundidad de muestreo, la ubicación, la fecha de muestreo y el tipo de análisis. Las muestras

fueron transportadas y analizadas en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Los parámetros analizados fueron pH, conductividad eléctrica, carbonatos, materia orgánica, fósforo, potasio, textura, capacidad de intercambio catiónico, cationes cambiables, suma de cationes, suma de bases y porcentaje de saturación de bases.

### Análisis foliar

Se tomaron muestras de hojas de cada planta clon CCN-51, con la finalidad de representar a la población general de las plantas. En el muestreo no se tomaron hojas con daños de plagas o enfermedades, ni con residuos de fungicidas o plaguicidas. Se seleccionó la cuarta hoja desde la posición apical de la rama cortada con una tijera desde su base (incluyendo el peciolo), por cada planta de cada tratamiento. Las hojas se colocaron en bolsas de papel para luego ser llevadas al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. En el laboratorio se secaron en una estufa con ventilación calibrada a 60 °C, por un tiempo mínimo de 24 horas para luego ser molida. Se evitó cualquier tipo de contaminación durante los procesos de extracción y almacenamiento de las muestras.

### Cosecha de mazorcas

El registro de mazorcas se realizó individualmente por cada planta, con una frecuencia quincenal para evitar la sobre maduración de los frutos en el campo.

### Índice de Mazorca (IM)

Para el cálculo del IM, se colectaron 20 mazorcas al azar de cada planta, registrando los datos morfológicos del fruto. Posteriormente, se determinó el IM siguiendo la siguiente fórmula:

$$IM = \frac{20 \text{ mazorcas} \times 1000 \text{ gramos}}{\text{peso en gramos de las almendras secas de 20 mazorcas}}$$

### Incidencia de enfermedades del cacao

La incidencia de enfermedades se evaluó en cada planta de cacao, removiendo las escobas de los árboles. Después se realizó el conteo, la identificación de la

enfermedad y se estimó la severidad.

### **Rendimiento de cacao seco**

El rendimiento de cacao seco, se calculó dividiendo el número total de mazorcas sanas cosechadas durante el año en cada planta por el índice de mazorcas. Luego, el resultado, por regla de tres simple se llevó a hectárea.

### **Evaluación de eficiencia del sistema de fertirriego con nano burbujas**

El coeficiente de uniformidad (CU), se determinó en el campo. Para ello, se puso en funcionamiento el sistema de acuerdo con las condiciones normales de funcionamiento. Luego, se tomaron cuatro tuberías laterales sobre la tubería terciaria, una en el extremo aguas arriba, otra en el tercio aguas abajo, otra a dos tercios agua abajo y una última en el extremo aguas abajo. Se midieron las presiones al inicio y al final de cada tubería lateral, ósea ocho lecturas de presión. En cada tubería lateral se escogió un gotero, en cuatro dos posiciones distintas: al inicio y al extremo. Se midió el caudal de todos los emisores escogidos durante un minuto, es decir 16 medidas de caudal. Se calculó la media de los cuatro valores más pequeños que representaron el caudal mínimo de distribución por planta; y la media general de los 16 valores que representan el caudal medio de los emisores. El coeficiente de uniformidad (CU) de distribución se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$CU (\%) = (\text{Caudal mínimo por planta/caudal medio por planta}) \times 100$$

Por último, se calculó la eficiencia de aplicación con la fórmula, determinando la calificación de evaluación del sistema del sistema de riego viendo la Tabla 2S.

$$Ea (\%) = Ks \times Cu$$

Donde:

CU: Coeficiente de uniformidad de distribución

Ks: pérdidas inevitables por percolación profunda, evaporación.

Ea: Eficiencia de aplicación -5%-10%

### **Análisis de datos**

Se desarrolló un Diseño de Bloques Completo al Azar (DBCA), con 6 tratamientos, y 3 bloques, para la comparación de los promedios se analizó el ANVA y luego se usó la prueba de Tukey al 5% de probabilidades.

## **III. RESULTADOS**

### **Datos del suelo**

El suelo donde se llevó a cabo el ensayo, está clasificado como entisol con las siguientes características: ubicación en terraza alta aluvial del río Huallaga; alternancia de horizontes discontinuos, contenido de arcilla (< 60 % arcilla); características vérticas, epipedon ocrítico, régimen de humedad de suelo ustico. En la Tabla 3S se describe detalladamente el perfil en las distintas capas según su profundidad y en la Tabla 4S se muestra los resultados del análisis fisicoquímico del suelo donde se realizó la investigación, y los porcentajes de arcilla, arena y limo, concentraciones de calcio, magnesio, potasio y sodio además proporciona información sobre el pH, materia orgánica y conductividad eléctrica.

### **Datos de diagnóstico Foliar**

Los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> presentaron los mejores porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio. Es decir, hay una mejor asimilación de los nutrientes debido a la disponibilidad en el suelo. Por otro lado, el T<sub>5</sub>, el tratamiento con nano burbujas mostro un mejor valor de contenido de nutrientes respecto al análisis inicial. Esto indica un mejor nivel de absorción en las plantas, es decir, mejor fertilidad química del suelo (Tabla 5S).

### **Índice de Mazorca**

El índice de mazorca para todos los tratamientos fue de 16,2, que indica que este factor de productividad es gobernado por la genética del clon CCN 51 en la zona del ensayo.

### **Incidencia de enfermedades del cacao**

En la tabla 6S, se muestra el número de mazorcas enfermas y el porcentaje de incidencia para cada tratamiento, siendo el más alto en los tratamientos T<sub>0</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>5</sub>, y el más bajo en el tratamiento T<sub>3</sub>. Tras el análisis de varianza, se ve que existen diferencias entre los trata-

mientos, con un grado de significancia de 0,05 (Tabla 7S). Al realizar la prueba de Tukey con un grado de significancia de 0,05, se muestra que existen diferencias significativas en 9 de 15 comparaciones realizadas, es decir los nutrientes aplicados de origen orgánico y convencional ayudan a disminuir la incidencia de enfermedades. Por otro lado, se observó que entre el T<sub>0</sub> y T<sub>5</sub> existen diferencias significativas, mostrando que el tratamiento con nano burbujas es eficaz para la sanidad de las mazorcas. Asimismo, el T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> no presentaron diferencias significativas respecto al T<sub>3</sub>, por lo que el tratamiento orgánico y nano burbujas mitigan en similar magnitud la incidencia de enfermedades en el cultivo de cacao (Tabla 8S).

#### **Rendimiento de cacao seco**

En la tabla 9S, se muestra el rendimiento de cacao seco en Kg/ha/año, siendo el más alto en los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, y el más bajo en el tratamiento T<sub>0</sub>. Tras el análisis de varianza, se ve que existen diferencias entre los tratamientos, con un grado de significancia de 0,05 (Tabla 10S). Al realizar la prueba de Tukey con un grado de significancia de 0,05, se muestra que 13 de 15 tratamientos muestran diferencias estadísticas significativas. Los tratamientos T<sub>1</sub> vs T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> vs T<sub>4</sub> no muestran diferencias significativas, que demuestra que no es necesario la saturación por dos horas de nano burbujas el agua, es decir solo sería necesario una hora de saturación. Por otro lado, el T<sub>0</sub> y T<sub>5</sub> presentan diferencias significativas estadísticamente, lo que nos demuestra que la aplicación con nano burbujas incrementa la productividad del cacao respecto al tratamiento riego sin fertilizante (Tabla 11S).

#### **Evaluación de eficiencia del sistema de fertirriego con nano burbujas**

Para el sistema de riego por goteo cuyo tiempo de evaluación fue de 2 minutos, se obtuvo un CU del 90% considerado que la eficiencia del sistema de fertirriego con nano burbujas es buena.

#### **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El índice de mazorcas se mantiene en 15,2 en todos los tratamientos del ensayo y es gobernado por la carga

genética del Clon CCN 51 y no por efecto de los tratamientos. El CU de riego en el ensayo es de 90% el cual garantizó una distribución de agua en la planta de cacao.

Es necesario saturar el agua de riego con nano burbujas por 1 hora antes de la aplicación. Regando con agua concentrada de nano burbujas en los suelos, son más fértiles y sanos, esto se muestra en el incremento del contenido foliar de Nitrógeno, Fosforo y Potasio (1,93%, 0,16% y 1,77% respectivamente).

El T<sub>5</sub> con nanoburbujas es tan eficaz como el T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> para la mitigación de incidencia de las enfermedades en el cultivo de cacao. El T<sub>5</sub> con nanoburbujas incrementa la productividad del cacao en un 11.9%, respecto al sistema de riego tradicional el T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> incrementan el 54.6% y los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> incrementan en 113.4% y el T<sub>0</sub> el 6.5%.

#### **V. AGRADECIMIENTOS**

Al Proyecto con Contrato N° 023-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2020, financiado por PROINNOVATE y ejecutado por la Empresa Kampos del Perú, por el financiamiento del trabajo de Investigación.

#### **CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES**

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

#### **VI. CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

#### **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Abdulai, I., P. Vaast, M. P. Hoffmann, R. Asare, L. Jassogne, P. Van Asten, R. P., Rötter, y S. Graefe. 2018. "Cocoa agroforestry is less resilient to sub-optimal and extreme climate than cocoa in full sun". *Global change biology* 24 (1): 273-286.
- Akintelu, S. O., L. Mele, V. O. Sobanke, y M.

- Adewunmi. 2019. "Adoption of some cocoa production technologies by cocoa farmers in Kogi State, Nigeria". *International Journal of Agriculture Innovation, Technology and Globalisation* 1 (1): 31-43.
- Akrofi-Atitianti, F., C. Ifejika Speranza, L. Bockel, y R. Asare. 2018. "Assessing climate smart agriculture and its determinants of practice in Ghana: A case of the cocoa production system". *Land* 7 (1): 30.
- Andrews, E. M., S. Kassama, E. E. Smith, P. H. Brown, y S. D. S. Khalsa. 2021. "A review of potassium-rich crop residues used as organic matter amendments in tree crop agroecosystems". *Agriculture* 11 (7): 580.
- Anzules-Toala, V., R. Borjas Ventura, L. Alvarado Huamán, V. Castro-Cepero, y A. Julca-Otiniano. 2019. "Control cultural, biológico y químico de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora* spp en *Theobroma cacao* 'CCN-51'". *Scientia Agropecuaria* 10 (4): 511-520.
- Balcázar, J. F. (2020). *Análisis comparativo de tres sistemas de riego en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)*. Tesis de Grado. Universidad Agraria del Ecuador. Milagro (Ecuador)
- Charry, A, A. F. Vélez, M. Romero, Y. Ivanova, M. C. Tristán, S. Lema, J. Sánchez Choy, F. Orjuela, y M. Jäger. 2020. *Estrategia integral para el fortalecimiento del plan de competitividad de la cadena de palma aceitera en Ucayali 2020-2030*. Cali (Colombia): Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Chire-Fajardo, G. C., M. O. Ureña-Peralta, y R. W. Hartel. 2020. "Fatty acid profile and solid fat content of peruvian cacao for optimal production of trade chocolate". *Rev Chil Nutr* 47 (1): 50-56.
- Dogbatse, J. A., A. Arthur, G. K. Awudzi, A. K. Quaye, S. Konlan, y A. A. Amaning. 2021. "Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth and Nutrient Uptake by Young Cacao (*Theobroma cacao* L.)". *International Journal of Agronomy* 2021: 5516928.
- García, A., B. Pico, y R. Jaimez, 2021. "La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción". *Novasinerгия* 4 (2): 152-172.
- Gateau-Rey, L., E. V. Tanner, B. Rapidel, J. P. Marelli, y S. Royaert. 2018. "Climate change could threaten cocoa production: Effects of 2015-16 El Niño-related drought on cocoa agroforests in Bahia, Brazil". *PloSone* 13 (7): e0200454.
- Głąb, T., W. Szewczyk, K. Gondek, M. Mierzwa-Hersztek, J. Palmowska, y K. Nęcka, K. 2020. "Optimization of turfgrass fertigation rate and frequency". *Agricultural Water Management* 234: 106107.
- Hoffmann, M. P., J. Cock, M. Samson, N. Janetski, K. Janetski, R. P. Rötter, ... y T. Oberthür. 2020. "Fertilizer management in smallholder cocoa farms of Indonesia under variable climate and market prices". *Agricultural Systems* 178: 102759.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2019. *Principales Resultados pequeñas, medianas y grandes unidades agropecuarias 2014-2018*. Lima (Perú): INEI
- Leiva, S., M. Oliva, E. Hernández, B. Chuquibala, K. Rubio, F. García, F., y M. Torres de la Cruz. 2020. "Assessment of the potential of *Trichoderma* spp. strains native to Bagua (Amazonas, Peru) in the biocontrol of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*)". *Agronomy* 10 (9): 1376.
- León Gutiérrez, A. C. (2021). *Creación de plan de negocio para los agricultores y productores de cacao deshidratado desde el municipio de San Martín en el departamento del Meta, hacia New Jersey, Estados Unidos*. Tesis de Grado. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá D. C. (Colombia)
- López Cuadra, Y. M., M. Y. Cunias Rodríguez, y Y. L. Carrasco Vega. 2020. "El cacao peruano y su

- impacto en la economía nacional”. *Revista Universidad y Sociedad* 12 (3): 344-352.
- Martínez, J. M., y E. M. Pachón. 2021. “Multivariate analysis of the adoption of cacao productive technologies: Evidence from a case study in Colombia”. *Economía agraria y recursos naturales* 21 (1): 79-102.
- Mata Anchundia, D., M. Rivero Herrada, y E. L. Segovia Montalvan. 2018. “Sistemas agroforestales con cultivo de cacao fino de aroma: entorno socioeconómico y productivo”. *Revista cubana de ciencias forestales* 6 (1): 103-115.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2015a. *Estudio del cacao en el Perú y en el mundo un análisis de la producción y el comercio estudio del cacao en el Perú y en el mundo un análisis de la producción y el comercio*. Lima (Perú): Ministerio de Agricultura y Riego.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2015b. *Estrategia nacional de agricultura familiar 2015 – 2021*. Lima (Perú): Ministerio de Agricultura y Riego.
- Ochoa, L. S., B. G. Osorio, E. T. Navarrete, L. Vallejo, G. M. G. Indio, y R. G. Fernández. 2018. “Las ONGs y su impacto en la adopción de tecnologías: Caso productores de cacao del cantón Quinsaloma, Ecuador”. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología* 7 (3): 158-171.
- Oliva, M., y J. L. Maicelo Quintana. 2020. “Identificación y selección de ecotipos de cacao nativo fino de aroma de la zona Nor oriental del Perú”. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable* 4 (2): 31-39
- Oliva-Cruz, M., M. Goñas, L. M. García, R. Rabanal-Oyarse, C. Alvarado-Chuqui, P. Escobedo-Ocampo, y J. L. Maicelo-Quintana. 2021. “Phenotypic Characterization of Fine-Aroma Cocoa from Northeastern Peru”. *International Journal of Agronomy* 2021: 2909909
- Polanco, E. R., E. B. P. Alferes, P. A. B. Fuquene, J. D. S. Amaya, y L. A. R. Polanco. 2020. “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): 79-94.
- Rosas-Patiño, G., Y. J. Puentes-Páramo, y J. C. Menjívar-Flores. 2021. “Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana”. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 24 (1): e1643.
- Sadhukhan, R., L. D. Sharma, S. Sen, S. Karmakar, K. Banerjee, y K. Baral. 2021. “Enhancing the Productivity of Field Crops through Nano-Fertilizer”. En *Agricultural Development in Asia-Potential Use of Nano-Materials and Nano-Technology*. Asaduzzaman, M. (ed.). Londres (Reino Unido): IntechOpen.
- Sánchez Arizo, V. H., J. L. Zambrano Mendoza, y C. Iglesias. 2019. *La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe*. Washington D. C. (EEUU): FONTAGRO
- Saravia-Matus, S. L., A. G. Rodríguez, y J. A. Saravia. 2020. “Determinants of certified organic cocoa production: evidence from the province of Guayas, Ecuador”. *Organic Agriculture* 10 (1): 23-34.
- Second, Z. M. A., Y. Aoudou, y B. M. Rene. 2021. “Aggressiveness of the Fungi Responsible for Pod Rot in Cropping Systems Based on Cocoa Trees (*Theobroma cacao* L.) in Cameroon”. *American Journal of Agriculture and Forestry* 9 (3): 156.
- Seutra Kaba, J., A. A. Abunyewa, J. Kugbe, G. K. Kwashie, E. Owusu Ansah, y H. Andoh. 2021. “Arbuscular mycorrhizal fungi and potassium fertilizer as plant biostimulants and alternative research for enhancing plants adaptation to drought stress: Opportunities for enhancing drought tolerance in cocoa (*Theobroma cacao* L.)”. *Sustainable Environment* 7 (1): 1963927.

- Sousa Filho, H. R., R. M. de Jesus, M. A. Bezerra, G. M. Santana, y R. O. de Santana. 2021. "History, dissemination, and field control strategies of cocoa witches' broom". *Plant Pathology* 70 (9): 1971-1978.
- Tanya-Morocho, M., y M. Leiva-Mora. 2019. "Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas". *Centro Agrícola* 46 (2): 93-103.
- Thakur, J., J. C. Sharma, J. C., Mohit, y P. Verma. 2020. "Vegetative Growth and Foliage Nutrient Content of Super Chief Apple under Different Irrigation and Fertigation Schedules in NW Himalayan Region". *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51 (16): 2174-2188.
- Vargas, M. Á. (2021). *Caracterización de las sucesiones secundarias en una colonización espontánea con predominio de cultivos de Theobroma cacao L. (cacao) y Elaeis guineensis Jacq. (palma aceitera) en Neshuya*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia. Yarinacocha (Perú).
- Vásquez-Barajas, E. F., N. E. García-Torres, L. M. Bastos-Osorio, y J. M. Lázaro-Pacheco. 2018. "Análisis económico del sector cacaotero en Norte de Santander, Colombia ya nivel internacional". *Revista de Investigación, desarrollo e innovación* 8 (2): 237-250.