Análisis documental de las estrategias de fertilización en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Ecuador.

Abel Eduardo Vargas Mukuimp[1]
agr2015107@uea.edu.ec
Lester Geovany Shiguango Grefa[1]
agr2015315@uea.edu.ec
Dr. Julio César Muñoz Rengifo, PhD[1]
jmunoz@uea.edu.ec

[1]Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Agropecuaria.

Resumen

El cultivo de cacao ha llegado ser muy importante para la economía de muchos países. Ecuador se ubica como líder en la producción de cacao fino de aroma, con una participación del 62% en el mercado mundial. El análisis de la fertilización orgánica y química es fundamental para los sistemas de producción de cacao, debido a que todo suelo en el que se cultiva tiende a empobrecerse. No obstante, por el desconocimiento del manejo y la mala ejecución del plan de fertilización ya sea edáfico o foliar, influyen sobre el rendimiento del cultivo del cacao. El propósito de la investigación se basa en analizar documentalmente las estrategias de fertilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Para este estudio se utilizó el método exploratorio documental. Tales métodos son; el análisis y definición de la necesidad de información de estudios experimentales relacionados con las estrategias de fertilización; la elección de fuentes de información siendo las fuentes primarias y secundarias recurridas a base de datos como Google académico, Scielo, etc.; estrategias de búsqueda de información en base a criterios de inclusión como: términos para la búsqueda (palabras clave de forma combinada como el nombre científico, morfología, el nombre de un autor, serán separadas por punto y coma, e incluyendo operadores lógicos y de truncamientos; y valoración de los resultados donde se seleccionaron criterios que permitieron incluir datos de fuentes oficiales o verificables. Los resultados encontrados en cuanto a la estrategia de fertilización química y orgánica en la fase vegetativa, se obtuvo valores significativos en desarrollo del tallo con Sulfato

de Potasio (SP), con AG y SP-ECO con rangos de diámetro de 32-36 cm, por otro lado, el tratamiento ECO-S4 demostró los menores valores de desarrollo del tallo con 30cm de diámetro. En la fase reproductiva del cultivo, el tratamiento AG presentó el mayor valor en mazorcas cosechadas (Mc) 5, granos totales (gntot) 158.44 y peso de granos seco (Pgs) 284.44 en comparación a los demás tratamientos aplicados. En conclusión, podemos decir que en la fase vegetativa del cultivo de cacao los tratamientos o estrategias de fertilización óptima para ser aplicados son los abonos convencionales siendo SP, AG y SP-ECO. Y para la fase reproductiva del cultivo el fertilizante inorgánico AG como eficiente para el rendimiento de la producción.

Palabras clave: Fertilizantes, orgánicos, químicos, cacao.

Abstract:

Cocoa cultivation has become very important for the economy of many countries. Ecuador ranks as a leader in the production of fine aroma cocoa, with a 62% share of the world market. The analysis of organic and chemical fertilization is essential for cocoa production systems, because all soil in which it is grown tends to become poorer. However, due to ignorance of management and poor execution of the fertilization plan, whether soil or foliar, they influence the yield of the cocoa crop. The purpose of the research is based on a documentary analysis of the fertilization strategies of the cocoa crop (Theobroma cacao L.). For this study, the documentary exploratory method was used. Such methods are; the analysis and definition of the need for information from experimental studies related to fertilization strategies; the choice of information sources being the primary and secondary sources resorted to databases such as academic Google, Scielo, etc.; information search strategies based on inclusion criteria such as: search terms (combined keywords such as the scientific name, morphology, the name of an author, will be separated by semicolons, and including logical and truncation operators and evaluation of the results where criteria were selected that allowed including data from official or verifiable sources. The results found in terms of the strategy of chemical and organic fertilization in the vegetative phase, significant values were obtained in stem development with Potassium Sulfate (SP), with AG and SP-ECO with diameter ranges of 32-36 cm, on the other hand, the ECO-S4 treatment showed the lowest values of stem development with 30 cm in diameter. In the reproductive phase of the crop, the treatment AG presented the highest value in harvested cobs (Mc) 5, total grains (gntot) 158.44 and dry grain

weight (Pgs) 284.44 compared to the other applied treatments. ados. In conclusion, we can say that in the vegetative phase of cocoa cultivation, the optimal fertilization treatments or strategies to be applied are conventional fertilizers, being SP, AG and SP-ECO. And for the reproductive phase of the crop, the AG inorganic fertilizer is efficient for production performance.

Keywords: Fertilizers, organic, chemicals, cocoa.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao ha llegado a ser muy importante para la economía de muchos países, por ejemplo: en el año 2019 – 2020 el cacao registró una producción de 4.7 millones de toneladas a nivel mundial. De dicha producción anual, Latino América produjo el 18.4%, 0.9 millones toneladas (García, Pico y Jaimez, 2021). Según Del Valle (2020), Ecuador se ubica como líder en la producción de cacao fino de aroma, con una participación del 62% en el mercado mundial. Estos índices también revelan la importancia de la producción de cacao en la generación de empleo, debido a que da sustento a 600 000 personas que están vinculadas directamente a la cadena del cacao, representando aproximadamente el 4% de la Población Económicamente Activa (PEA) nacional, y 12.5% de la PEA agrícola.

La producción de cacao en el país se cultiva bajo dos sistemas diversos más comunes, entre ellos: los sistemas tradicionales y el sistema semi-tecnificado. Los sistemas tradicionales están integrados por cultivos transitorios de plátano y yuca, además de otros cultivos de tipo permanente como lo son los frutales: guabo, cítricos, aguacate, y mango, con baja o inexistente utilización de fertilizantes. El sistema semi-tecnificado es el que predomina en su mayoría y es utilizado comúnmente en las fincas de mayor productividad y con mayor plantación de número por hectáreas (Loor, 2019).

Los fertilizantes son importantes debido a que proporcionan nutrientes al suelo y las plantas, los más utilizados en la producción de cacao son de origen convencional y orgánico. El efecto de estos fertilizantes fueron investigados y analizado rigurosamente, por lo cual citamos un ejemplo, según Gómez (2017) se puede aplicar un plan de fertilización química en el cultivo de cacao cuando estos suelos presentan un bajo contenido de nutrientes esenciales como el nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), así

dejando un suelo fértil y nutritivo para potencializar el desarrollo y producción del cultivo considerando el uso límite de estos fertilizantes. Sobre estas ideas, Alcívar, Valdez y Loor (2016), anunciaron que los fertilizantes orgánicos empleados en el suelo son bien aprovechados a largo plazo por la planta de cacao a diferencia de los convencionales, ya que estos son aprovechados a corto plazo porque son más solubles.

Los abonos orgánicos están compuestos de materia orgánica (MO), aportan nutrientes y funcionan como base para la formación de múltiples compuestos que mantienen la actividad microbiana, como son: las sustancias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas). La MO ejerce distintos efectos positivos en el suelo como: mejorar la estructura del suelo, facilita la formación de agregados estables, aumenta la fuerza de cohesión a suelos arenosos, mejora la retención de humedad del suelo, estimula el desarrollo de las plantas y su acción quelante favorece la disponibilidad de algunos micronutrientes (Fe, Cu y Zn) para la planta (Herrán, Torres, Martínez, Ruiz y Portugal, 2008).

Los fertilizantes aplicados orgánica y químicamente no varían mucho en cuanto a los resultados que presentan las plantas de cacao ya sea en rendimiento, producción, altura, diámetro del tallo (Álvarez, Rojas y Suárez, 2015), aunque el fertilizante convencional toma algo de ventaja respecto al fertilizante orgánico por su alta solubilidad, pero estos productos químicos están enfocados en incrementar la producción y desarrollo reproductivo del cultivo de cacao, más no en mejorías del suelo que es el sustrato vital para la planta, en cambio la fertilización orgánica está enfocada en mejorar tanto la producción del cultivo y las características del componente suelo.

El análisis de la fertilización orgánica y química es fundamental para los sistemas de producción de cacao, debido a que todo suelo en el que se cultiva tiende a empobrecerse y a reducir su capacidad de sustentar el desarrollo de las plantas de cacao, en consecuencia, decae la producción y la fertilización aportaría los elementos minerales que han sido extraídos con la cosecha (Arias, 2020), así que, con la fertilización se busca evitar la pérdida de la capacidad productiva del cultivo de cacao. Por este motivo es necesario mejorar los suelos adicionando oportunamente fertilizantes, y no solo que ayuden a mejorar la producción, sino que además reduzcan la contaminación del suelo y aire, mejorando la vida microbiana del medio.

Sin embargo, el desconocimiento del manejo y la mala ejecución de planes de fertilización ya sea edáfico o foliar tiene un efecto sobre el rendimiento y producción del

cultivo de cacao. Existen otros factores como la humedad, temperatura, composición química del suelo, la utilización de variedades no mejoradas, controles fitosanitarios-inadecuados y el desarrollo ineficiente de las labores culturales que también influyen sobre el rendimiento del cultivo (Rodríguez, 2019), no obstante, la principal causa que tiene un efecto negativo directo sobre el rendimiento del cultivo de cacao son los inadecuados planes de fertilización que pueden generar problemas como insuficiencia nutricional, salinidad y toxicidad. Según Rodríguez (2019), antes de aplicar los fertilizantes en los cultivos y al suelo, es de suma importancia realizar un estudio de suelo para determinar el porcentaje de nutrientes y conjuntamente desarrollar un programa de fertilización con las dosis adecuadas en dependencia del cultivo y el sustrato vital de la planta. Con lo cual es importante compensar los nutrientes al suelo, en donde se requiere que los nutrientes sean de alto valor nutricional y de elevada eficacia y que a su vez presente una relación positiva de costo-beneficio.

Por el contrario, los fertilizantes de origen sintético han constituido una de las alternativas más utilizadas en la fertilización de cacao a partir de la revolución verde (1960-1980). Estos fertilizantes convencionales no son considerados como mejoradores del suelo, ya que sus efectos en este sentido pueden ser indirectos a través del aumento de la producción de biomasa, por el contrario, estos fertilizantes solo están direccionados en mejorar el rendimiento y producción de las almendras de cacao (Alcívar et al., 2016). Por ello surge la necesidad de realizar un análisis documental, basándonos en estudios que son publicados en revistas de investigación, o libros, en otros casos en tesis, y en diferentes medios de divulgación científica. El propósito de la investigación se basó en aanalizar documentalmente las estrategias de fertilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.).

De acuerdo con la información mencionada se formula la siguiente pregunta del problema: ¿Qué estrategia de fertilización mejora el rendimiento del cultivo de cacao *T. cacao* L*?*

2. Metodología de la investigación

Se realizó una investigación no experimental, exploratorio documental, de fuentes de información primaria (SACSA, 2015), publicadas en español e inglés, sobre las estrategias de fertilización orgánica y química para analizar el rendimiento del cultivo de cacao (*T. cacao* L.).

Métodos de investigación

Para este estudio se utilizó el método exploratorio documental. Para ello se realizó una búsqueda sistemática, de fuentes de información primaria y secundaria (SACSA, 2015). Las fuentes de información primaria: artículos de investigación contenidos en revistas científicas, libros. Las fuentes de información secundaria: libros que interpretan otros trabajos y artículos de revisión y repositorios de tesis.

Las variables para el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos se describen a continuación:

En el primer objetivo se incluyen las principales características de los fertilizantes orgánicos y químicos aplicados en el cultivo de cacao (*T. cacao*). Por consiguiente, se definirán variables que permitan analizar cada fertilizante. En el caso del fertilizante orgánico las variables serán: propiedades físicas (sólido o líquido, color, textura) y químicas (N, P, K,), composición (MO, excrementos) y naturaleza (origen); para el caso de los fertilizantes químicos serán las siguientes variables: propiedades físicas (sólido o líquido) y químicas (solubilidad, estado de pH), naturaleza (origen) y composición (N, P, K).

En el segundo objetivo se incluye la estrategia de fertilización que mejore el rendimiento de la producción de cacao. Para analizar el rendimiento las variables que se analizaron fueron las siguientes: mazorca cosechada (Mc), producción de granos totales (gntot), peso de granos seco (Pgs).

Método exploratorio

El método de investigación que se utilizo es exploratorio documental, este método garantiza recuperar el mayor número de documentos científicos que permitió cumplir el objetivo planteado: Analizar documentalmente las estrategias de fertilización orgánica y química del cultivo de cacao (*T. cacao*).

Para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación se planteó diferentes etapas hasta la definición de resultados que puedan ser incluidos en la investigación. El primero ya dio inicio con el planteamiento del problema, y permitió definir la especie y zona de estudio, lo cual es importante para determinar las fuentes de información y las estrategias de búsqueda. Posteriormente se analizó y valoró los estudios resultantes de la búsqueda como paso importante para la selección de estudios y posteriormente de los resultados que se incluyó en este estudio.

Análisis y definición de la necesidad de información.

Existe la necesidad de identificar estudios experimentales relacionados con las estrategias de fertilización orgánica y química del cultivo de cacao (T. cacao).

Elección de fuentes de información.

Para la obtención de las fuentes de información primaria y secundaria se recurrieron a las bases de datos (BD): Google académico (Google, LLC - Alphabet Inc; USA), Scielo (FAPESP and BIREME) y repositorios de tesis.

Estrategia para la búsqueda de la información.

Para la búsqueda de información se utilizó palabras claves y operadores lógicos (Or) o de truncamiento, en los casos especiales. La combinación de palabras claves como el nombre científico, morfología, fisiología o el nombre de un autor, serán separadas por punto y coma.

Los criterios de inclusión para la búsqueda de información fueron los siguientes: 1) términos para la búsqueda (palabras clave de forma combinada e incluyendo operadores lógicos, operadores de truncamiento); 2) año de publicación (últimos 10 años); y, 3) número de estudios (al menos 20 artículos científicos, 2 libros y 10 tesis pregrado).

Valoración de los resultados.

Se seleccionaron varios criterios que permitieron incluir resultados de fuentes oficial o verificable, estudios que presenten rigurosidad científica, en el caso de artículos, aquellos que fueron publicados en revistas indexadas, y en el caso de tesis aquellas que fueron sometidas por un tribunal de al menos tres miembros especialistas en el área de la temática. Posteriormente, se valoraron la pertinencia de los estudios con el problema de investigación; del mismo modo la correspondencia con las variables que se declararán en este estudio, conveniencia de escalas y técnicas similares de medición y en los casos que no cumplan con este criterio, al menos la representatividad.

3. Resultados y discusión

3.1 Características de los fertilizantes orgánicos y químicos aplicados en el cultivo de cacao.

Lombricompost, gallinaza y bocashi.

Humedad

Tabla 1

Valores de humedad de distintos abonos orgánicos

Parámetros	Humedad
Lombricompost (%)	75 y 80[1]
Gallinaza (%)	57.80 y 34.80[2]
Bocashi (%)	31.04[3]
Humedad óptima cacao (%)	70 a 80[3]

Nota. Fuente: [1]Aguirre, (2014); [2]Peralta, (2021); [3]Silva et al., (2014)

Con las investigaciones realizadas obtuvimos datos de los contenidos de humedad en los distintos fertilizantes orgánicos, en las cuales; En el año 2014, Aguirre determino que la lombricompost posee un valor de 75% a 80% debido en a que en ella se encuentran las lombrices las cuales hacen remover la composta lo que permite que el agua humedezca más rápido el suelo. Por otro lado, Instituto de Ecología A.C (1994) demostró que este abono orgánico posee una humedad de 64.656% debido a que se utilizaron materiales como son estiércol fresco de bovino, tierra negra, cascarilla de arroz y la lombriz roja californiana al terminar este proceso se obtuvieron dichos resultados. Silva et al, (2014) señalo que el resultado de la humedad de Aguirre (2014) es óptimo para el cultivo de cacao ya que esta necesita 70% a 80% de humedad para desarrollarse. Peralta (2021) determinó que la humedad del abono de la Gallinaza en jaula es de 57.80% ya que el estiércol no está mezclado con (cascarilla de arroz, aserrín, paja u otros componentes de cama). Mientras que Silva et al. (2014) determinó que el abono del bocashi tiene una humedad de 31.04% + 2.46% la cual fue elaborada bajo sombrío. Motivo por el cual se llegó a tener este resultado.

Materia Orgánica

Tabla 2

Valor de la materia orgánica (MO) de diferentes abonos orgánicos

Parámetros	MO
Lombricompost (%)	84.510[1]
Gallinaza (%)	34.10 y 42.10[2]
Bocashi (%)	68.96 + 2.46[3]

Nota. Fuente: [1]Instituto de Ecología A.C, (1994); [2]Peralta, (2021); [3]Silva et al, (2014)

El valor de la MO de diferentes abonos orgánicos en las cuales; IEAC (1994), determinó que el valor de la MO del Lombricompost es de 84.510% ya que esta contiene materia prima principal. Por otro lado, Silva (2014), determinó que la lombricompost posee un valor de MO de 30.38%, debido en a que en ella se encuentran las lombrices las cuales hacen remover la composta lo que permite que el agua humedezca más rápido el suelo. Mientras que Tenecela (2012), demuestra que el valor de la MO de este abono es de 30 – 70% ya que esta está elaborada con residuos orgánicos como (cascara de plátano, cascara de huevos, desperdicios de hortalizas, desperdicio de comida). Estrada (2005) determinó que la MO del abono de la Gallinaza posee un valor de 34.8% ya que este es un abono de gallinaza de piso y esta mezclada con estiércol de cama y otros componentes, razón por la cual llego a tener este resultado de MO. Por otro lado, Peralta (2021) demostró que la MO del abono de la Gallinaza en jaula es de 34.10% y 42.10% ya que el estiércol no está mezclado con (cascarilla de arroz, aserrín, paja u otros componentes de cama). Silva et al. (2014) determinó que el abono del bocashi tiene una MO de 68.96% + 2.46% la cual fue elaborada bajo un lugar abierto.

Porosidad

Tabla 3

Valor de la porosidad de diferentes abonos orgánicos

Parámetros	Porosidad
Lombricompost (%)	61.42 + 1.241[1]
Bocashi (%)	70[2]

Nota. Fuente: [1]Zanor et al, (2017); [2]Silva et al, (2014)

El valor de la porosidad de diferentes abonos orgánicos fue; Silva et al. (2014), determinó que este lombricompost posee un valor de porosidad de 81.50%, debido en que en ella se encuentran las lombrices las cuales hacen remover la composta lo que permite que el agua humedezca más rápido el suelo. Por otro lado, Piedrahita (2012) determinó que el abono del bocashi tiene un valor de 70% de Porosidad ya que está elaborado con materiales como (Banano, aserrín seco, bocashi maduro y gallinaza). Silva et al. (2014) señala que el resultado de Piedrahita (2012) tiene un valor del rango establecido de porosidad.

Densidad Aparente (DA)

Tabla 4

Valor Densidad Aparente (DA) de diferentes abonos orgánicos

Parámetros	DA
Lombricompost (gcm)	1.46 + 0.166[1]
Gallinaza (gcm)	0.51[2]
Bocashi (gcm)	0.46 + 0.005[3]

Nota. Fuente: [1]Zanor et al, (2017); [2]Peñaloza, (2012); [3]Silva et al, (2014)

El valor de DA de diferentes abonos orgánicos fueron; Zanor et al. (2017), determinó el valor de DA del Lombricompost es de 0.66gcm+0.001gcm ya que este abono está preparado con efluentes de biodigestor alimentados con desechos de hortalizas y frutas. Mientras Peñaloza (2012) determinó que la DA del abono de la gallinaza posee un valor de 0.51gcm ya que este es un abono preparado con componentes como el compost de champiñón y de *Vicia faba* razón por la cual llegó a tener este resultado de humedad. Por otro lado, Silva et al. (2014) determinó que el abono del bocashi tiene una DA de 0.46gcm+0.005gcm la cual fue elaborada con componentes frescos. Peñaloza (2012) señala que el resultado de Zanor et al, (2017) tiene el valor de DA más alto por su elaboración por biodigestor.

Características químicas de los fertilizantes orgánicos.

Lombricompost, Gallinaza y Bocashi

Tabla 5

Características químicas de los fertilizantes orgánicos

Parámetros	pH	C/N	N	P
Lombricompost	5.15+0.07[1]	19[7]	1.882+0.013[4]	0.50+0.02[4]
Gallinaza	6.18+0.30[6]	6.20[2]	0.06+0.013[1]	2-8[5]
Bocashi	9.00[2]	31.7[3]	0.50+0.01[4]	1.22+0.25[3]

Nota. Fuente: [1]Aguirre, (2014); [2]Peralta, (2021); [3]Silva et al, (2014); [4]Zanor et al, (2017); [5]Peñaloza, (2012);[6]Usón et al, (2010); [7]IEAC, (1994)

PH

Respecto al pH Tabla 5, estos abonos orgánicos demostraron diferencias significativas (P<0,05), donde el Bocashi, presentó el valor con 6,18+0,30 por lo que se considera de acuerdo a Usón et al. (2010), un acondicionador ligeramente acido. Estos pH están ligeramente por debajo de las caracterizaciones químicas realizadas en diferentes tipos de abonos así es que como Pérez et al. (2008), reporta un promedio de pH de 8,13 y 5,52. De acuerdo con Peralta (2021), el abono de la gallinaza es la más acida ya que supera un valor promedio de 9,00, más elevada a la recomendada por Pérez et al. (2008).

Relación C/N

En relación al C/N de estos abonos orgánicos demostraron diferentes valores, donde Silva et al, (2014) presentó al Bocashi con el valor de 31.7 ya que esta fue elaborada con diferentes clases de materiales. De acuerdo con Peralta (2021), el abono de la gallinaza dio un valor promedio de 6.20 ya que esta un abono echa a bases de cama y tiene materiales secos y su descomposición es lenta. En tanto IEAC (1994), dio un valor al abono orgánico del Lombricompost de 19, ya que estas se elaboran en lugares húmedos.

Nitrógeno

En los compost donde sólo se incluyen restos vegetales, se produce una reducción en el contenido de estos nutrientes; Zanor et al. (2017) reportan valores de N 1.882%. Los resultados demuestran que el compost de la Gallinaza y el Bocashi asegura un menor suministro de nutrientes en relación al primer compost evaluado ya que estos tienen valores de N de 0,06+0,013% y 0,50+0,01%.

Fósforo

Según Zanor et al. (2017) el abono de lombricompost obtuvo el valor de 0,50+0,02 en su composición nutricional ya que este está elaborado con vegetales y estiércol de ganado vacuno esto hace que tenga una humedad constante. Mientras que Peñaloza (2012) da un valor de P a la Gallinaza de 2-8%. Por otro lado, Silva et al, (2014) da un resultado al abono de Bocashi de 1,22+0,25% de fosforo ya que esta contiene componentes de estiércol y gallinaza.

3.1.2 Características de los fertilizantes químicos aplicados en el cultivo de cacao.

3.1.2.1 Características físicas y químicas de los fertilizantes inorgánicos.

Fosfato diamónico (DAP)

Es el fertilizante más inducido en nuestro entorno, que son preparados a partir de dos componentes comúnmente usados en la industria de elaboración de fertilizantes y es bastante distinguido debido a su buena concentración de altos nutrientes respectivamente y de sus buenas propiedades fisicoquímicas (Dávila, 2021).

Características físicas y químicas

Color, humedad y solubilidad.

De acuerdo a las investigaciones realizadas encontramos datos del abono inorgánico DAP, en lo cual se presenció de dos colores, siendo de color pardo y marrón (Pérez, 2021), también se encontró el DAP con humedad de 1.60% máximo y contribuyendo una solubilidad en agua (20^{o}C) de 588 g/L Tabla 6.

Tabla 6

Características fiscas y químicas del Fosfato diamónico (DAP)

Parámetros	DAP
Color	Pardo – marón[1]
Humedad (%)	1.60 max[1].
Solubilidad en agua (20°C)	588 g/L[2]
Fósforo (%)	46.0 ± 1.0[1]
Fósforo soluble (%)	41.0 ± 1.0[2]
Nitrógeno (%)	18.0 ± 1.0[1]
pH	7.5 - 8[1]

Nota. Fuente: [1]Azama, G., [2]Rodríguez, E., (2021)

Nitrógeno (N)

El DAP abarca una inmensa contención de nitrógeno (N) y fósforo (P) para la nutrición de las plantas, además éstos se desintegran con facilidad en el suelo y posteriormente liberan fosfatos y amonios disponibles para los cultivos (Dávila, 2021).

De acuerdo al estudio realizado por Azama y Rodríguez (2021) afirman que el nitrógeno (N) aporta 18.0% ± 1.0%, siendo como uno de los elementos más esenciales para los cultivos Tabla 6.

Acotando a esta investigación, estudio realizado por Moncayo et al. (2018) se acopla a lo que reportó recientemente Dávila (2021), que el fertilizante DAP obtienen gran contenido

de fósforo-nitrógeno, y además concuerda con lo que reportó Pérez (2021) que el nitrógeno es soluble en agua, y adiciona también que el nitrógeno está presente en el medio en forma de amoniaco.

Por otro lado, estudios de Urbina y Tosta (2018) y Piguave (2021) concuerdan con lo reportado por Azama y Rodríguez (2021) que el elemento nitrógeno presenta el 18% de su valor.

Fósforo (P2O5)

El fósforo (P) a igual que el nitrógeno y otros elementos es muy importante para la nutrición, crecimiento y desarrollo de los cultivos tanto para el fortalecimiento de las raíces y de los órganos vegetativos Azama y Rodríguez (2021), afirman que este elemento esencial se encuentra con valor de 46.0% ± 1.0% (Tabla 9) y fósforo soluble de 41.0% ± 1.0%.

Siguiente estudio de acuerdo a Urbina y Tosta (2018) estiman mismos valores de porcentajes de fósforo de 46% que afirmaron recientemente Azama y Rodríguez (2021) estudio en lo cual abarca los datos legítimos de esta investigación.

PH

Una de las características más importantes del DAP es el pH, por lo que en esta investigación se obtuvo como dato legítimo de pH solución 7.5 a 8 (Azama y Rodríguez, 2021), en lo cual esto nos dice que se encuentra en forma alcalina. De acuerdo a Dávila (2021) reporta que el pH de DAP concuerda con lo mencionado por Azama y Rodríguez (2021) que este coeficiente es alcalino, y por ende da lugar al entorno de los gránulos disueltos. Además, Dávila (2021) por lo contrario afirma que los gránulos de DAP al diluirse dispersan amonio, lo cual llegaría a ser nocivo el amoniaco en estado volátil tanto para las plantas y sus órganos como las raíces respectivamente. Esto ocurre cuando los suelos presentan pH mayores de 7, disposición que se encuentran alrededor del gránulo de DAP en disipación.

Sulfato de potasio

El sulfato de potasio es aquella fuente de potasio (K) más usado en los cultivos que son delicados al ser aplicados con cloruros, y este compuesto no se halla en su estado natural en el medio, el cual proviene o se extraer de ciertos minerales refinados como langbeinita, kieserita, alunita, etc., (Azama y Rodríguez, 2021).

Por otro lado, Requena (2019) sostiene que el sulfato de potasio pertenece a un tercio de solubilidad solamente y siendo al igual que el cloruro de potasio (KCl), por lo que no se diluye con facilidad para su asimilación a través del agua de irrigación, o al menos que solo sea un azufre adicional importante.

Características físicas

Tabla 7

Características físicas del sulfato de potasio

Parámetros	Sulfato de sodio
Temperatura de fusión	1067ºC[1]
Temperatura de ebullición	1670ºC[1]
Densidad relativa	2,66[1]
Solubilidad en agua g/ml	1 g / 8.3 ml de agua a 25ºC[1]
Estado físico, color y olor	Sólido, gránulos o polvo blanco a cristalino sin olor[1]

Nota. Fuente: [1]Briones, (2019)

En el presente estudio en base a la búsqueda sobre las características físicas del sulfato de potasio se obtuvo datos tangibles y verídicos, en lo cual podemos mencionar algunas de las principales características (Briones, 2019), siendo la temperatura de fusión y la temperatura de ebullición presente, y una buena representación de densidad relativa y cierta solubilidad en g/ml que enmarca el valor adecuado para la buena asimilación del SP en el medio, como se visualiza en la Tabla 7, y finalmente uno de los elementos característicos del SP tales como su estado sólido, los gránulos de este compuesto de una coloración blanco a cristalino y sin olor respectivamente.

Díaz y Guzmán (2004) respecto al parámetro de la solubilidad del sulfato de potasio han sostenido el valor soluble de este compuesto de 110g/l a 20ºC, en lo que Briones (2019) reporta que dicha solubilidad está a 1g/8.3 ml a 25ºC. Como se puede captar dicha información entre estos autores, existe una diferencia de unidad de volumen, no obstante, están en el rango de acuerdo a sus criterios.

Características químicas

Comprendiendo al sulfato de potasio como todos los compuestos químicos que son importantes para la fertilización en diferentes áreas y formas para las plantas tomando en

cuenta las medidas de prevención no todo al exceso (Briones, 2019), pues por ende a este compuesto cabe indicar su fórmula química K2SO4, su contenido porcentual de potasio (K2O) de 50% y con contenido de azufre (S) de 18%.

Estudio realizado por Carranza (2018) concuerda con Briones (2019) en cuanto al contenido de 18% (S), pero existiendo una diferencia con el 52% (K2O), ya que Briones (2019) reportó que el potasio contiene 50% respectivamente según el análisis realizado. De acuerdo a estos datos podemos determinar que existen dos variantes un poco diferenciadas por su valor porcentual, pero otro estudio realizado por Meca (2018) que concuerda con Briones (2019) tanto en el contenido de K2O (50%) y 18% de azufre (S). Con estos datos podemos mencionar que existirán valores de porcentajes algo variado, aunque en una gran parte un valor algo estandarizado de 50% potasio y 18% azufre.

Tabla 8

Características químicas del sulfato de potasio

Parámetros	Sulfato de potasio
Fórmulas químicas	K2SO4[1]
Contenido de K2O	50%[1]
Contenido de S	18 %[1]
Solubilidad en agua	(25 ºC): 120 g/L[1]
pH solución	aprox.7[1]

Nota. Fuente: [1]Briones, (2019)

Solubilidad y pH

Briones (2019) reportó que el sulfató de potasio contiene una solubilidad de (120 g/L en 25ºC) en agua y de la misma forma ha reportado que el pH solución tiene un aproximado de 7. Por otro lado, Carranza (2018) mencionó que, al disminuir el pH en la zona de las raíces, ayuda a mejorar la disponibilidad de los fósforos y de los micronutrientes.

3.2 Estrategia de fertilización para la producción de cacao.

Los fertilizantes presentes en nuestro entorno provienen de origen orgánico y químico, los cuales se proporcionan al suelo con el objetivo de nutrir y enriquecer este medio vital para un buen desarrollo de las plantas de cacao, una buena estabilidad entre la absorción y las adiciones de sustancias nutritivas tanto para el suelo y el cultivo (Szott y Kass, 1993).

Por otro lado, según Muñoz y Cerda (2021) existe otra forma de fertilización, vía foliar, en lo cual al fertilizar por esta vía ayuda a la reparación y curación de las plantas, y favorece a la formación de brotes foliares de los cultivos. Esta vía de fertilización se aplica luego de haber cumplido un mes de la poda estructural.

Plan de fertilización

Para evaluar los procesos de fertilización orgánica y química se establecieron cuatro tratamientos. El tratamiento 1 consistió en una fertilización química AG, donde se usó un abono compuesto por una dosis de 150 g por árbol. En el Tratamiento 2 se analizó la fertilización con SP (sulfato de potasio), producto estipulado con base en los niveles de fertilidad del suelo de las fincas que se evaluaron por su compatibilidad con la agricultura orgánica, además de la adaptación de 46,2 g de urea, 18 g de DAP y 279 g de K2 SO4. En el Tratamiento 3 se utilizó la fertilización orgánica ECO-S4 (ecocacao y Súper 4). El abono del compost utilizado tenía los siguientes valores: elementos mayores: 0,99% N; 1% P; 1,22% K; 5,51% Ca; 0,57% Mg; 0,18% Na; 0,75% S; elementos menores: 42 mg/kg Cu; 447,7 g/kg Mn; 624,3 mg/kg Zn; 16, 2 mg/kg B, y la relación C/N era de 20,9 con un pH de 7,8. El Tratamiento 4 evaluó la combinación de la fertilización inorgánica con SP más el producto orgánico denominado ecocacao, SP-ECO. Además, se aplicó de 23 g de urea, 18 g de DAP y 280 g de K2 SO4.

Después de utilizar los fertilizantes, orgánicos y químicos, se retiró la materia orgánica del lugar de aplicación. Después de limpiar el lugar, se añadieron los productos en el suelo por cada planta. La aplicación de fertilizantes se lo realizo a inicios de invierno, en abril, y al final de la lluvia, en octubre. Para conocer el valor de los fertilizantes químicos y orgánicos en el cacao con arreglo agroforestal, se utilizó un diseño experimental de bloques, donde se evaluaron las variables de respuesta: producción y crecimiento. Para evaluar la producción se utilizó un cacaotal bajo un sistema agroforestal con clones de cuatro años en proceso de producción.

Para ello se identificaron cuatro plantas y mazorca total, mazorca cosechada, peso mazorca total, semilla total, peso semilla húmeda, peso semilla seca, semilla por mazorca, conteo total de semillas en la mazorca, el peso promedio en gramos fue grabado, por mazorca y peso total en gramos por mazorca para cada tratamiento y repetición. Para evaluar los patrones de fertilización durante el período de crecimiento, se seleccionó un árbol de cacao de linaje de 8 meses con alrededor de 30% de sombra, como lo sugiere

Hartemink (2005). En esta etapa se midieron las variables altura y diámetro del tronco a 20 cm del cuello del árbol. Las mediciones se realizan cada 2 meses, teniendo en cuenta el crecimiento episódico de la cosecha de cacao. Esto se hizo durante un año en cuatro árboles debidamente identificados. Para el cálculo del cambio total de altura y diámetro se consideró la diferencia entre el último seguimiento y el basal, correspondiente a 13 meses.

Se compara la fertilización orgánica con la fertilización química, en dos etapas de crecimiento en arreglo agroforestales.

Crecimiento

Se observó que el incremento en altura promedio fue de 22,5 cm sin diferencia significativa entre tratamientos Tabla 9. Por otro lado, se observó con el diámetro del tronco, mostrando una diferencia significativa entre ensayos. En promedio, hubo un aumento de 4,71 cm durante el seguimiento. Entre los tratamientos evaluados, ECOS tuvo el menor aumento en relación con los otros tratamientos, y esto es estadísticamente diferente a los demás.

Tabla 9

Aumento en el desarrollo de la altura y el diámetro del tallo para los cultivos de cacao en la fase de crecimiento, controladas con distintos registros de nutrición edáfica

		Inicial			Final			Variación		
Variable	Tratamiento	Media		EE	Media		EE	Media		EE
	AG	2.68[1]	±	0.07[2]	2.86[3]	±	0.14[1]	018[2]	±	0.10[3]
Altura	ECO-S4	2.86[1]	±	0.08[2]	3.00[3]	±	0.15[1]	0.14[2]	±	0.10[3]
(cm)	SP	2.85[1]	±	0.12[2]	3.10[3]	±	0.10[1]	0.25[2]	±	0.09[3]
	SP-ECO	2.81[1]	±	0.08[2]	3.14	±	0.09[1]	0.33[2]	±	0.09[3]
	AG	28.11[1]	±	2.14[2]	34.22[3]	±	2.82[1]	6.11[2]	±	1.78[3]
	ECO-S4	28.35[1]	±	1.97[2]	30.05[3]	±	2.13[1]	1.70[2]	±	1.71[3]
	SP	30.13[1]	±	1.67[2]	36.13[3]	±	1.74[1]	6.00[2]	±	1.08[3]
Ø 20cm	SP-ECO	27.05[1]	±	1.60[2]	32.10[3]	±	1.97[1]	5.05[2]	±	1.24[3]

Nota. Fuente: Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas mediante la prueba de LSD de Fisher $p<0.05$

Tomado de [1]Álvarez, [2]Rojas y [3]Suárez, (2015).

Producción

Dentro de la evaluación en la etapa de producción de los sistemas agroforestales de cacao, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para mazorcas cosechadas (Mc), granos totales (gntot) y peso granos seco (Pgs) Tabla 10, que son las variables más importantes al momento de medir la producción de un cultivo. En este sentido, el tratamiento AG mostró el mayor valor de Mc y fue similar a los tratamientos ECO-S4 y SP. Para las variables gntot y Pgs se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento AG el que presentó los valores más altos para ambos tratamientos.

Tabla 10

Promedios en parámetros para cada uno de los tratamientos de reparaciones orgánicos en sistemas agroforestales de cacao

	AG			ECO-S4			SP			SP-ECO		
Variable	Media		EE	Media		EE	Media	±	EE	Media		EE
Mt	9.27[1]	±	2.55[1]	10.08[1]	±	1.83[2]	7[2]	±	2.38[3]	6.91[3]	±	1.79[3]
Mc	5[1]	±	1.12[1]	3.38[1]	±	0.6[2]	3.75[2]	±	1.13[3]	2.63[3]	±	0.42[3]
Pmt	3611.11[1]	±	825.01[1]	2746.88[1]	±	480.43[2]	3132.14[2]	±	839.09[3]	2346.88[3]	±	459.85[3]
Pct	2730.56[1]	±	673.92[1]	2.125[1]	±	383.65[2]	2521.43[2]	±	698.05[3]	1837.5[3]	±	358.85[3]
gntot	158.44[1]	±	323.33[1]	105.5[1]	±	18.3[2]	110.13[2]	±	29.69[3]	102.75[3]	±	17.93[3]
Pgh	808.33[1]	±	181.53[1]	618.75[1]	±	87.72[2]	589.38[2]	±	148.91[3]	571.88[3]	±	108.81[3]
Pgs	284.44[1]	±	69.46[1]	176.25[1]	±	26.82[2]	194.38[2]	±	60.64[3]	155.63[3]	±	37.79[3]

Nota. Fuente: Mt = mazorcas totales; Mc = mazorcas cosechadas; Pmt = peso mazorca totales; Pct = peso cacota total; gntot = granos totales; Pgh = peso granos húmedos; Pgs = peso granos seco; gpm = granos por mazorca; gtpm = granos totales por mazorca; Pgpm = peso gramos promedio por mazorca; Ptgb = peso total gramos por mazorca.

Letras diferentes en filas indican diferencias significativas mediante la prueba de LSD de Fisher $p<0.05$

Tomado de [1]Álvarez, [2]Rojas y [3]Suárez, (2015).

Conclusión

De acuerdo a la investigación que se efectuó y se analizó, las principales características encontradas que describen a los fertilizantes químicos y orgánicos son: humedad, solubilidad, su modo de acción, porosidad, pH y su alto contenido nutricional, tales características permiten la buena elección de un buen fertilizante al momento de optar un plan de fertilización para la producción del cultivo de cacao.

Finalmente, después de haber realizado el análisis documental en búsqueda de la mejor estrategia de fertilización para la producción del cultivo de cacao. Concluimos que la estrategia o tratamiento óptima encontrado para un buen plan de fertilización son los fertilizantes químicos, siendo el mejor de entre los convencionales el fertilizante AG, tanto en la fase reproductiva y vegetativa. También cabe mencionar que la estrategia de aplicación con los fertilizantes SP y SP-ECO en base a la información investigadas, son consideradas como óptimos para ser aplicados en la producción de cacao solo después del AG.

Partiendo de que, al aplicar los fertilizantes convencionales y orgánicos, el abono convencional AG fue el mejor de todos los tratamientos. No obstante, se sabe que estos fertilizantes convencionales no son buenos para mejorar y restaurar los suelos, a diferencia de los abonos orgánicos que si son los indicados como mejoradores del sustrato suelo. Por ende, se recomiendo que al aplicar los fertilizantes convencionales hay que considerar mucho la dosis que se ejecutará tanto al suelo y a la planta.

Referencias

Alcívar, Valdez, J. P., y Loor Vélez, M., V. (2016). *Respuesta del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) a la poda y fertilización orgánica y química.* (Trabajo de grado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Mnuel Félix López, Manabí, Ecuador.

Álvarez, Carrillo, F., Rojas, Molina, J., y Suárez, Salazar, J. (2015). Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao L*. bajo arreglo agroforestal en Rivera Huila, Colombia. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agorpecuaria, 16*(2), 307-314.

Arias, Andrade, P., F. (2020). *Evaluación de la fertilización nitrogenada y de silicio sobre el rendimiento en cacao CCN-51, en fase productiva.* (Trabajo de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador.

Batista, L. (2009). Guia Técnica El Cultivo de Cacao en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. *Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF), 1*(1), 250.

Cabrera, R. (2002). *Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta. 2º Simposio Nacional de Horticultura*. Memorias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. Recuperado de http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort02/Ponencia06.pdf.

Del Valle, E. (2020). *Evaluación socioeconómica de los sistemas de producción de cacao (Theobroma cacao L.) en el cantón Urdaneta, provincia de Los Ríos.* (Trabajo de pregrado). Universidad Estatal de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, Urdaneta, Ecuador.

Figueroa, F. (2014). *Caracterización física, química y microbiológica de diferentes compost comercializados en el estado Monagas.* (Trabajo de grado). Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela.

García, Briones, A., Pico, Pico, B. y Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Novasinergia. 4*(2). 152-172. https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10

Gómez, Alvarado, P., I. (2017). *Validación de opciones de fertilización en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.).* (Trabajo de pregrado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, El triunfo, Guayas, Ecuador.

Herrán, J., Torres, R., Martínez, G., Ruiz, R. y Portugal, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Revista científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible, 4*(1), 57-68.

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia.

Jiménez, R. y Caballero, M. (1990). *El cultivo industrial de plantas en maceta.* (Ediciones de Horticultura). Provincia de Tarragona, Reus, España, 256p.

Loor, A. (2019). *"Análisis comparativo de dos sistemas de producción de cacao (Theobroma cacao L) y la Socioeconomía en pequeños agricultores del Cantón El Empalme".* (Trabajo de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

Muñoz, L. y Cerda, R. (2021). Guía para el manejo integrado de enfermedades en el cultivo de cacao. *Serie técnica Manual técnico no. 146*.

Pierre, F., Rosell, R., Quiroz, A. y Granda, Y. (2009). Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en Caspito, municipio Andrés Eloy Blanco, Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro. 21*(2):105-110.

Rodríguez, Córdova, P. I. (2019). *"Estudio de la fertilización edáfica en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la hacienda San José, cantón Babahoyo".* (Trabajo de pregrado). Universidad Ténica de Babahhoyo, Los Ríos, Ecuador.

Silva, J., Rodríguez, W. y Rosas, G. (2014). Caracterización física y química de bokashi y lombricompost y su elevación agronómica en plantas de maíz. *Ingenierías y amazonia, 7*(1), 4-5.

Anexos

Fundamentación Teórica

2.1 Cacao

La planta de cacao es un árbol nativo de las regiones tropicales húmedas de la parte norte de América del sur y América central, aunque todavía hay cierta controversia sobre el origen y domesticación del mismo (García, 2020). Además, García (2020) reporta que el origen de la domesticación, del cultivo, del consumo y la exportación del cacao se remontan a los indígenas, aztecas y mayas en México y Centroamérica, inclusive antes del descubrimiento de América.

2.1.1 Descripción de la planta

El árbol de cacao es una planta perenne y pertenece al Orden Malvales, a la familia de las Esterculiáceas (Tabla 1). El cacao alcanza una altura media de seis metros y tiene hojas lustrosas de hasta 30 cm de longitud y pequeñas. Las semillas de esta planta están encerradas en una mazorca de color pardo rojizo de longitud máxima de 28 cm, las cuales tienen un sabor amargo, son de color púrpura o blancuzco y se parecen a las almendras, el cotiledón tiene sabores y aromas característicos de chocolate (Del Valle, 2020).

Tabla 1.

Clasificación taxonómica del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.*)*

REINO	Vegetal
SUBREINO	Tracheobionta
DIVISIÓN	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida
SUBCLASE	Dillenidae
ORDEN	Malvales
FAMILIA	Esturculiacea
SUBFAMILIA	Byttnerioideae
TRIBU	Theobromeae
GÉNERO	Theobroma
ESPECIE	*Theobroma cacao* L.

Tomado de Del Valle, T., 2020

2.1.2 Variedades

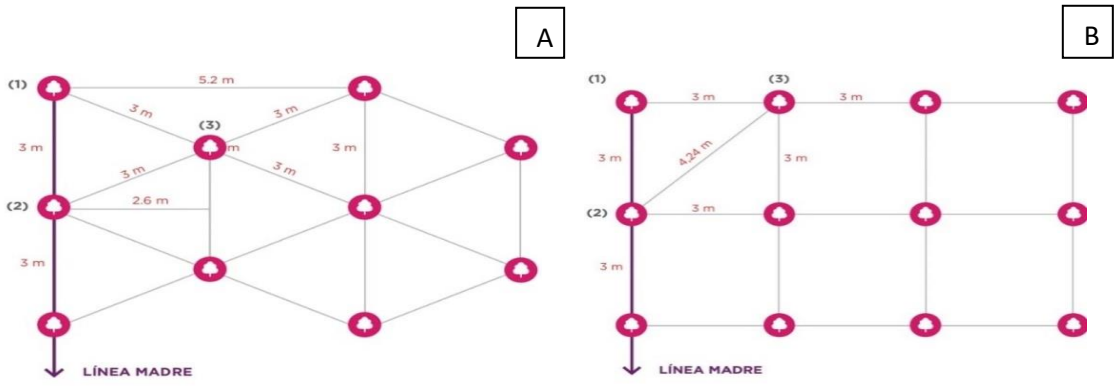
Existen tres tribus genéticas de variedades de cacao que se clasifican tradicionalmente en trinitario, forastero y criollo. Tal que la tribu forastera contiene una superior en variabilidad genética, mientras que las tribus criollo son genéticamente más estrechamente definidas y, el grupo trinitario entiende híbridos entre las dos primeras tribus. La gran parte de cacao cultivado mundialmente hoy en día son híbridos de orígenes mixtos que no pueden ser completamente inducidos dentro de esta clasificación clásica. Un estudio reciente basado en datos moleculares clasifica las formas conocidas en 10 conglomerados principales o grupos (Del Valle, 2020).

2.1.3 Plantación

Según Quiroz y Mestanza (2012), para efectuar el trazado balizado y posterior siembra se debe considerar la topografía del terreno (pendiente) y la densidad poblacional en función del tipo de planta que se sembrará (entre ellos cacao CCN51, Fino de aroma, sea injerto y/o plantas provenientes de semillas). En un terreno plano o ligeramente inclinado cabe un trazado en "marco real" conocido como "en cuadro" (Figura 1). Finalmente, de acuerdo Quiroz y Mestanza (2012), la distancia de siembra recomendada para zonas húmedas es de 4x4 (625 plantas por hectárea), y para zonas secas es 4x3 (833 plantas por hectárea). Pero las distancias de siembra más comunes son: 3 × 3 m; 2,5 × 2,5 m o 3 ×4 m; sin embargo, la densidad de siembra y la distancia se debe definir con base en las condiciones ambientales del sitio, y la topografía del terreno (Figura 1) (Paredes, 2009).

Figura 1

Diseño de estaquillado para la siembra de cacao (Theobroma cacao L.)



Nota. El gráfico ilustra distancia de siembra de dos formas, (A) 3x3 m trazado en tresbolillo, y (B) 3x3 trazado en estilo a cuadrado. Tomado de Paredes, 2009.

2.2 Tipos de suelo que requiere el cultivo de cacao

El tipo de suelo que requiere el cultivo de cacao debe tener una profundidad efectiva mínima de 80 cm y un máximo de 1,5 metros, el nivel freático debe estar por debajo 1,5 metros, su estructura debe ser porosa y con espacios suficientes que permitan la infiltración y drenaje del agua. Generalmente suelos de textura franca a franco arcillosa son los indicados para el cultivo. No obstante, debe tener buen contenido de arcilla que permita retener suficiente cantidad de agua (García, 2020).

2.2.1 Nutrición del suelo

El suelo para cumplir su función debe poseer una flora microbiana y macrofauna activa, las cuales deben conservarse y elevarse brindando materia orgánica. Para ello la inclusión de los abonos orgánicos como la roca fosfórica (P2O5), compost, bocashi, cal dolomita, estiércol, y entre otros remanentes de cultivos, o bien cualquier otro residuo orgánico son de importancia nutricional a efectuarse (Garro, 2016).

2.3 Clima

Según Salinas y Tomalá (2014) el cacao necesita para su normal desarrollo, una precipitación entre los 1 800 y 2 500 mm de lluvia anual, bien dispensadas en la zona durante el año. Una temperatura moderada entre 24 y 26 ºC. Menos de 14 ºC durante la noche y más de 35 ºC durante el día, no son adecuados para este cultivo, especialmente durante el desarrollo de formación de frutos.

2.4 Elementos esenciales para la planta

2.4.1 Macronutrientes y micronutrientes

Según Rodríguez (2019) el cacao (*Theobroma cacao* L.) como todo cultivo requiere en grandes cantidades de macronutrientes para desarrollarse y reproducirse. Asimismo, un suelo fértil además de un aspecto deseable debe tener una buena constitución química, la que está dada por macroelementos nutricionales primarios como: Nitrógeno, Fósforo, Potasio; macroelementos secundarios como: Calcio, Magnesio y Azufre. Por otro lado, los micronutrientes o microelementos son requeridos sólo en cantidades ínfimas para el crecimiento correcto de las plantas y tienen que ser agregados en cantidades muy pequeñas cuando no pueden ser provistos por el suelo. Aquellos elementos que las plantas necesitan son: Hierro, Boro, Manganeso, Zinc, Cobre, Cloro y Molibdeno.

2.4.2 Uso de nutrientes

Según Fedecacao (2021) la aplicación depende de la demanda del cultivo y de la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo y por sus etapas (Figura 2). Se puede calcular las entradas de nutrientes que se necesitan por cada hectárea en un cacaotal: 220 libras de nitrógeno, 22 libras de fósforo, 77 libras de potasio, 50 libras de magnesio y ≈300 libras de calcio. Más de la mitad de estas cantidades provienen de hojarasca, que, al aplicar abono orgánico, esto también aporta nutrientes. Un quintal de lombri-humus le aporta al suelo 1.2 libras de nitrógeno, 1.8 libras de fósforo, 1.3 libras de potasio, siete libras de calcio y 0.22 libras de azufre.

Figura 2

Requerimiento de los nutrientes de acuerdo a cada etapa de desarrollo del cacao



Nota. El gráfico ilustra la aplicación en base a la etapa del cultivo y de la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo. Tomado de *Asociación de productores de cacao* (p.6), por Fedecacao, 2021.

2.5 Fertilización

El suelo requiere un buen empleo de fertilización para restaurar la baja presencia de nutrientes que requiere la planta de cacao, así alcanzar un desarrollo normal y producción de cultivos y ejercer un producto de calidad (Gómez, 2017). En lo cual, también Rodríguez (2019) reportó que la ejecución de abonos en el cultivo de cacao debe determinarse en base a resultados de un análisis de suelo o análisis foliar, ya que, dentro de los suelos minerales, la materia orgánica abarca 1% y la materia mineral abarca 90 y 99%, siendo las fuentes básicas de nutrientes. Además, Fedecacao (2021) manifiesta que, para realizar una buena aplicación del plan de fertilización, antes bien, hay que tomar en

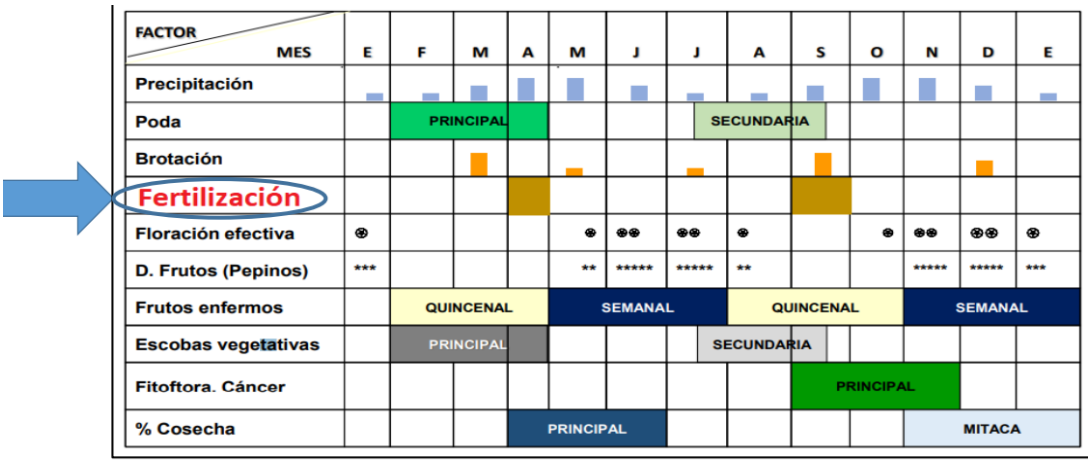
cuenta ciertas reglas como la fertilidad del suelo, edad y estado fisiológico de la planta, el grado de sombrío, hábito de manejo y eficacia productiva del ejemplar.

Como se puede visualizar en la figura 3, la fertilización se elabora a principios de la temporada de lluvia, a comienzo de abril, y épocas finales de lluvias, en Julio y entre agosto a mediados de septiembre (Álvarez et al., 2015).

2.5.1 Aplicación los fertilizantes

Figura 3

Cronograma de actividades de cacao para nororiente del país; comportamiento productivo y eco fisiológico del cacao



Nota. El gráfico ilustra la fertilización en épocas óptimas del año. Tomado de *Asociación de productores de cacao* (p.7), por Fedecacao, 2021.

Existen dos maneras de aplicar los fertilizantes. Generalmente hay que hacer aplicaciones de fertilizantes compuestos (N-P-K), aplicarlos edáficamente (aplicación radicular, suelo) y los elementos menores se pueden aplicar de forma foliar. La aplicación de manera foliar del fertilizante, cosiste en dispersar en forma de lluvia a las hojas de la planta del cacao, ya que estas se nutren a través de las hojas y las asimilan muy bien. Y de forma radicular o al suelo, consiste en aplicar el fertilizante de manera directa o diluida en agua, en la base de la planta o en el sustrato, para que los nutrientes se encuentren presentes lo más cercano a sus raíces y éstos puedan ser aprovechados por la planta (Borrero, 2009).

2.6 Fertilizantes

Son materiales de origen natural o industrializado (orgánico e inorgánico), que contienen nutrientes en formas asimilables para las plantas de cacao, para mejorar la fertilidad del suelo e incrementar la producción de esta (Fedecacao, 2021).

2.6.1 Tipos de fertilizantes

Los principales fertilizantes utilizados pueden ser orgánico y químico. Según Arias (2021) existen muchos tipos de fertilizantes orgánicos, pero los principales fertilizantes se detallan a continuación: 1) La roca fosfórica (P2O5), cal dolomita; 2) Compostaje (estiércol); 3) Abono bocashi; 4) Abonos verdes, biochar y coberturas; 5) Vermicompost y Fossil Shell Agro. Por otro lado, Arias (2021) también menciona que los principales fertilizantes químicos son las que se describen a continuación: 1) Ferticacao 20-6-17-3-4-1; 2) Ferticacao plus; 3) Fernitrok nitrato de potasio (13.5-0-45); 4) Fernical nitrato de calcio (15.5-0-0-26.5); 5) KORN-KALI+B (0-0-40+6Mg0+4S+0.25B) y compuesto NPK.

2.7 Plan de fertilización

2.7.1 Muestreo y Análisis de suelos

Para realizar un buen muestreo, antes bien, se necesita zonificar el predio considerando la variabilidad espacial y temporal presente en el lote, y posteriormente se continúa con la selección del lugar procurando tomar muestras de zonas representativas homogéneas, evitando mezclar muestras del suelo de zonas diferentes. Para obtener una mayor cantidad de muestreo dependerá del nutriente a evaluar y de la variabilidad particular del terreno Chávez (2020). Además, el análisis de suelos son herramientas básicas y necesarias para determinar la fertilidad actual y potencial de cada lote. El objetivo de efectuar un análisis del suelo, es determinar el diagnóstico de las condiciones reales del mismo y el estado nutricional de las plantas (Mite, 2016).

2.7.2 Diagnóstico de la fertilización

Después de haber realizado el análisis del suelo, el proceso de diagnóstico se efectúa a partir de la revisión de los resultados obtenidos de aquellos análisis que a su vez asociados con las características de calidad de cada parcela. Y para la etapa de diagnóstico de fertilización es importante contar con un historial o registros sobre las aplicaciones anteriores de planes de fertilización en general. Con el fin de aportar una información

verídica sobre los contenidos nutricionales del cultivo, de esta forma realizar un buen programa de fertilización para próximos cultivares (Mite, 2016).

2.7.3 Diseño del plan de fertilización

Es la especificación de las cantidades y modelos de fertilizantes a ejecutar, así como la ejecución del tiempo y la técnica para favorecer los requerimientos de la planta. No obstante, al momento de la fijación de estas características interfieren sin número de circunstancias como los haberes de los fertilizantes, los costos de elementos nutricionales por fertilizantes, los efectos ambientales climatológicos y acceso delimitado a equipos de trabajo (Mendoza, 2020).

2.7.4 Ejecución y monitoreo del plan de fertilización

Según Briones (2018) la ejecución es el accionamiento eficaz de la práctica del plan determinado. Mientras se continúa con la implementación del plan de fertilización y monitoreo se estima que se presentan circunstancias no predichos al momento de la planificación, que requieren un adecuado e inédito entorno, por la interferencia de los factores causantes de dichas circunstancias, en específico, el clima.

2.7.5 Evaluación y análisis de los resultados del plan de fertilización

Después de haber aplicado el plan es de suma importancia, analizar y evaluar si la estrategia de fertilización emitida funcionó y con qué grado de eficacia. Por lo que, para poder hacerlo, es necesario contar con alguna parte del terreno apartado como testigo para la práctica tradicional. Y en el mejor de los casos se pueden realizar algunas pruebas o ensayos más elaborados (Briones, 2018), anticipado a la ejecución de los fertilizantes, como químicos y orgánicos, además, antes de ejecutar éstos, se debe preparar el lugar de inclusión realizando una limpieza del área formando una corona alrededor de la planta a un metro de diámetro.

Finalmente realizar la evaluación y análisis de los resultados que estiman los fertilizantes ejecutados en el rendimiento del cultivo de cacao, recurriendo a las variables como: producción (t/ha/año), frutos cherelles por planta (n), peso de granos por planta (kg), mazorca por plantas (n), etc., no obstante, atendiendo a factores que influyen en el rendimiento del cultivo, estas son, precipitación, incidencia de enfermedades, edad del cultivo, fertilidad del suelo y calidad genética (Arias, 2020).

Referencias

Álvarez, Carrillo, F., Rojas, Molina, J., y Suárez, Salazar, J. (2015). Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de Theobroma cacao L. bajo arreglo agroforestal en Rivera Huila, Colombia. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agorpecuaria, 16*(2), 307-314.

Arias, Andrade, P., F. (2020). Evaluación de la fertilización nitrogenada y de silicio sobre el rendimiento en cacao CCN-51, en fase productiva (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador.

Arias, Sanmartín, A. H. (2021). Manejo integrado cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.): enmiendas edáficas, efecto en la floración y cuajado de fruto (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador.

Borrero, C. A. (2009, Septiembre). Fertilización del cultivo de cacao en sitio definitivo, San José de Guaviare. Recuperado de http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/fertilizacion_del_cultivo_de_cacao_en_sitio_definitivo.pdf

Briones, Herrera, J. A. (2018). "Evaluación de la respuesta de cacao CCN-51 a plena exposición solar a las aplicaciones de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en la zona de Zapotal, Provincia de Los Ríos" (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

Chávez, Sudario, Y. R. (2020). "Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y frutos de una plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Aucayacu, distrito de José Crespo y Castillo - Huánuco 2020" (Tesis de pregrado). Universidad de Huánuco, Facultad de Ingeniería, Huánuco, Perú.

Del Valle, E. (2020). Evaluación socioeconómica de los sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el cantón Urdaneta, provincia de Los Ríos (Tesis de pregrado). Universidad Estatal de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, Urdaneta, Ecuador.

Fedecacao. (2021). Manejo Integrado del Cultivo de Cacao (Theobroma cacao L.). Recuperado de https://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/

García García, L. A. (2020). Caracterización morfológicas en las zonas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo Nacional en el cantón Babahoyo provincia de los Ríos (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Babahoyo, Ecuador.

Garro, Alfaro, J. E. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. Recuperado de http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf.

Gómez, Alvarado, P., I. (2017). Validación de opciones de fertilización en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, El triunfo, Guayas, Ecuador.

Mendoza, Duarte, K. Y. (2020). Evaluación de métodos de fermentación y su efecto en la calidad del grano mediante el sostenimiento de 5.000 m2 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de Landázuri Santander (Tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Bogotá, Colombia.

Mite, Vivar, F. (2016). Fertilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Recuperado de https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3524/1/iniapeetp-psn2016.PDF

Paredes. (2009). Manual de Cultivo de Cacao para la Amazonía Ecuatoriana. *Manual* 76, 43.

Quiroz, V.J. ,y Mestanza,V.S.(2012). *Establecimiento y manejo de una plantación de cacao.*Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=l3kzAQAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=INIAP.+(2012).+Programa+Nacional+de+Cacao.+Estaci%C3%B3n+Experimental+Litoral+del+Sur,+146.&ots=hFteMSEtBg&sig=kVQqa2bTDFQbVT_Y23F4TZwaayY#v=onepage&q&f=false

Rodríguez, Córdova, P. I. (2019). "Estudio de la fertilización edáfica en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la hacienda San José, cantón Babahoyo" (Tesis de pregrado). Universidad Ténica de Babahhoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.

Salinas, Neira, F. E., y Tomalá, Tomalá, M. M. (2014). "Comportamiento Agronómico de Clones de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Tipo Nacional en Mnaglaralto, Cantón Santa Elena" (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias Agrarias, La Libertad, Ecuador.