



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA**

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Los macronutrientes y su importancia en el cultivo de café (*Coffea
arábica*) en el Ecuador

AUTOR:

Adonis Fabricio Castro Villacis

TUTOR:

Ing. Agr. Víctor Julio Goyes Cabezas, MBA.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

Los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre) se puede puntualizar que son los elementos fundamentales que se necesitan en mayores proporciones para garantizar y optimizar el desarrollo y la perduración del cultivo de café. La presente investigación se desarrolló como componente no experimental de carácter bibliográfico, mediante una técnica de análisis, síntesis y resumen de la información obtenida. Por lo anteriormente detallado se determinó que los macronutrientes incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre son elementos son absorbidos por la planta en grandes cantidades, juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café. El nitrógeno ayuda a que la planta crezca vigorosamente y produzca un buen desarrollo de frutos porque mantiene las hojas verdes y brillantes y tiene buena transportabilidad. El fósforo interviene en algunos procesos metabólicos que estimulan la división celular, correcto desarrollo de las raíces y al crecimiento de nuevos brotes; favorece la floración, el rendimiento, la producción y la calidad del fruto. El potasio garantiza el rendimiento y la calidad de los frutos, el transporte de azúcar, el control estomático; reduce la susceptibilidad de la planta a las enfermedades, el impacto de la sequía. El magnesio garantiza el rendimiento y la calidad de los frutos, el transporte de azúcar, el control estomático; reduce la susceptibilidad de la planta a las enfermedades, mejora el color, la calidad y la durabilidad de los productos de café. El calcio es importante para el crecimiento de las raíces; este elemento juega un papel importante como regulador del crecimiento de las plantas, en su desarrollo y en su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas, mejorando así la resistencia a enfermedades. El azufre ayuda a fortalecer la estructura de la planta y apoya la resistencia al frío y al ataque de plagas y enfermedades. La absorción de macronutrientes en plantas de café de 3 a 6 años de edad es la siguiente: 163 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 26 kg ha⁻¹ de fósforo (P), 154 kg ha⁻¹ de potasio (K), 74 kg ha⁻¹ de calcio (Ca), 33 kg ha⁻¹ de magnesio (Mg) y 14 kg ha⁻¹ de azufre (S) en los suelos oscuros (molisoles) francos.

Palabras claves: Nutrientes, crecimiento, rendimiento, absorción, síntomas.

SUMMARY

Macronutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur) can be pointed out as the fundamental elements that are needed in greater proportions to guarantee and optimize the development and durability of the coffee crop. This research was developed as a non-experimental component of a bibliographic nature, through a technique of analysis, synthesis and summary of the information obtained. From the above details, it is determined that macronutrients include nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur. These elements are absorbed by the plant in large quantities and play an important role in the growth and development of coffee plants. Nitrogen helps the plant grow vigorously and produce good fruit development because it keeps the leaves green and shiny and has good transportability. Phosphorus intervenes in some metabolic processes that stimulate cell division, correct root development and the growth of new shoots; favors flowering, yield, production and fruit quality. Potassium guarantees the yield and quality of the fruits, sugar transport, stomatal control; reduce the susceptibility of the plant to diseases, the impact of drought. Magnesium guarantees the yield and quality of the fruits, sugar transport, stomatal control; reduces plant susceptibility to diseases, improves color, quality and durability of coffee products. Calcium is important for root growth; This element plays an important role as a regulator of plant growth, in its development and in its ability to adapt to adverse environmental conditions, thus improving resistance to diseases. Sulfur helps strengthen the structure of the plant and supports resistance to cold and attack by pests and diseases. The absorption of macronutrients in coffee plants from 3 to 6 years old is as follows: 163 kg ha⁻¹ of nitrogen (N), 26 kg ha⁻¹ of phosphorus (P), 154 kg ha⁻¹ of potassium (K), 74 kg ha⁻¹ of calcium (Ca), 33 kg ha⁻¹ of magnesium (Mg) and 14 kg ha⁻¹ of sulfur (S) on dark loam soils (molisols).

Keywords: Nutrients, growth, performance, absorption, symptoms.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Tipo de investigación – líneas de investigación	4
2. DESARROLLO.....	5
2.1. Marco conceptual	5
2.1.1. Importancia de los macronutrientes en el cultivo de café	5
2.1.2. Efectos de los macronutrientes en el cultivo de café.....	6
2.1.2.1. Nitrógeno.....	6
2.1.2.2. Fósforo	7
2.1.2.3. Potasio.....	9
2.1.2.4. Magnesio	11
2.1.2.5. Calcio.....	13
2.1.2.6. Azufre	14
2.1.3. Síntomas de deficiencia de los macronutrientes en el cultivo de café	14
2.1.3.1. Nitrógeno.....	14

2.1.3.2. Fosforo	15
2.1.3.3. Potasio.....	15
2.1.3.4. Magnesio	15
2.1.3.5. Calcio	16
2.1.3.6. Azufre	17
2.1.4. Necesidades nutricionales de macronutrientes para la producción del cultivo de café.....	17
2.1.5. Condiciones del suelo	19
2.1.6. Épocas de aplicación.....	20
2.2. Metodología.....	21
2.3. Resultados.....	21
2.4. Discusión de resultados	22
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	23
3.1. Conclusiones	23
Mediante la información analizada se presenta las siguientes conclusiones:	23
3.2. Recomendaciones	24
Por lo consiguiente se recomienda:.....	24
• Realizar un análisis de suelo antes de efectuar un programa de fertilización, con la finalidad de mejorar el rendimiento potencial del cultivo de café.....	24
• Establecer programas de fertilización con macronutrientes y micronutrientes de forma adecuada en las etapas recomendadas del cultivo.....	24
• Aplicar técnicas de fertilización foliar y edáfica de forma complementaria en las etapas de requerimiento nutricional del cultivo de café.	24
4. REFERENCIAS Y ANEXOS.....	25
4.1. Referencias.....	25
4.2. ANEXOS	34

INDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Absorción de macronutrientes en plantas de café de 3 a 6 años de edad.....	18
Tabla 2. Remoción de macronutrientes por cosecha (1000 kg).....	19

INDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en café.....	34
Figura 2. Síntomas de deficiencia de fosforo en café.....	34
Figura 3. Síntomas de deficiencia de potasio en café.....	35
Figura 4. Síntomas de deficiencia de magnesio en café.....	35
Figura 5. Síntomas de deficiencia de calcio en café.....	36
Figura 6. Síntomas de deficiencia de azufre en café.....	36

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

La industria del café es un pilar importante en la micro y macroeconomía a nivel mundial. En Ecuador, es el cuarto producto más importante de exportación, convirtiéndose en la principal actividad agrícola de cuatro de los catorce distritos de desarrollo rural del país. El 70 % de los productores de café tiene al grano como su principal fuente de ingresos económicos a nivel familiar. La producción anual de café es igual a 0,85 millones de sacos de café verde, correspondiente al 11,4 % del total de la región andina. Por estas razones, el cultivo del café es prioritario en la agenda agraria del gobierno de Ecuador (Garay 2023).

El café, en el Ecuador, es un cultivo de gran importancia económica, ya que cuenta con 199 215 ha cultivadas, el 68 % de esta área corresponde a la especie *Coffea arábica* y el 32 % a *Coffea canephora*. El cultivo de café está distribuido en 23 de las 24 provincias del país, por lo tanto, está relacionado con un amplio tejido social. *C. arábica* recibe el nombre de café arábigo y es considerado el de mejor calidad, su producción se concentra en las provincias de Manabí, Loja y en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes. La provincia de los Ríos cuenta con un área sembrada de 692 ha, con 114 hectáreas cosechadas, su producción anual de 7 toneladas y un rendimiento de 0,06 t/ha (Contreras 2022).

El potencial productivo del café, al igual que el de cualquier cultivo, es función de su genotipo y el ambiente donde se desenvuelve, es decir, de las interacciones del cafetal existente y los factores que lo limitan en las diferentes etapas de su ciclo fenológico; como son el clima (temperatura y humedad), las plagas, enfermedades, maleza, suelo y la disponibilidad del recurso hídrico (Anchundia & Carranza 2023)

El crecimiento y el desarrollo de los cafetales, y por ende su producción y rentabilidad, depende en buena medida de una adecuada nutrición, la cual se logra cuando la planta dispone de cantidades suficientes y balanceadas de todos los nutrientes requeridos. Adicionalmente, los cultivos correctamente alimentados ofrecen una mejor calidad del grano y son más resistentes a plagas, enfermedades, sequía y otras condiciones adversas (Ube 2021).

Los macronutrientes como el nitrógeno se encuentran principalmente en el protoplasma de la célula vegetal y es el tercer elemento más abundante en éstas, forma los nucleótidos, ácidos nucleicos, cloroplastos, enzimas y proteínas. El fósforo, se encuentra presente en el protoplasma, es móvil en la planta, participa principalmente en el almacenamiento y transferencia de energía de las especies químicas dentro de la planta. El potasio participa en la formación de almidón, azúcares, proteínas y mejora la síntesis y movilización de las sustancias orgánicas, también interviene en el metabolismo respiratorio; tiene influencia en la "turgencia" de las células vegetales gracias a la acumulación de sustancias compatibles (Muñoz 2024).

Por lo expuesto fue necesario recopilar y sintetizar información referente a los macronutrientes y su importancia en el cultivo de café (*C. arábica*) en el Ecuador.

1.2. Planteamiento del problema

Debido al desconocimiento del manejo del cultivo de café en los planes de fertilización, se ha producido bajas considerables en la rentabilidad de dicho cultivo en Ecuador, lo cual ha sido un factor determinante en la disminución de las áreas cultivadas, siendo desplazado por cultivos como el maíz, arroz, banano, cacao, los cuales han causado grandes impactos en la economía de los agricultores ecuatorianos. Los agricultores estiman que dicho cultivo no es productivo, por lo

tanto, no es considerado una fuente de ingresos que produzca incrementos económicos que mejoren el nivel de vida de ellos y sus familias, lo cual ocasiona una baja significativa de productores algodoneros en Ecuador.

La principal problemática de los cafetos es que debido a la presencia de nudos, hojas, estructuras de floración y frutos en un variado estado de desarrollo, conduce a que exista una permanente competencia por los nutrientes entre los diferentes órganos, de allí que un adecuado plan de nutrición deba enfocarse en satisfacer la demanda de nutrientes de la cosecha actual, como la que se necesita para garantizar la formación de órganos vegetativos que soportarán los siguientes ciclos de producción.

1.3. Justificación

Al hacer referencia a macronutrientes se puede puntualizar que son los elementos fundamentales que se necesitan en mayores proporciones para garantizar y optimizar el desarrollo y la perduración del cultivo. Por ende, es crucial hacer énfasis en su adecuado manejo e implementación en los planes de fertilización con las dosis adecuadas, para alcanzar mayores estándares en la calidad de los frutos producidos.

Debido a su trascendencia, se debe introducir a los macronutrientes en los planes de fertilización para incrementar la rentabilidad en potencia del café, en la cual es imprescindible regenerar los conocimientos sobre su manejo, periodo de aplicación, fuentes utilizables y técnicas de aplicación en el cultivo de café.

Por las circunstancias planteadas con anterioridad se manifiesta que la justificación principal del trabajo expuesto se basa en la ejecución de un análisis, cuya finalidad fue la exploración de los principales efectos y la importancia que forman parte de la nutrición del cultivo de café, por medio de la aplicación de los

macronutrientes. Por ende, se establece que dicho trabajo sea del uso específicamente de estudiantes, profesionales y toda persona dedicada al área agrícola.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Describir los macronutrientes y su importancia en el cultivo de café (*C. arábica*) en el Ecuador.

1.4.2. Objetivos específicos

- Detallar los efectos de los macronutrientes en el cultivo de café.
- Mencionar los síntomas de deficiencia de los macronutrientes en el cultivo de café.
- Indicar las necesidades nutricionales de macronutrientes para la producción del cultivo de café.

1.5. Tipo de investigación – líneas de investigación

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en el: “Los macronutrientes y su importancia en el cultivo de café (*C. arábica*) en el Ecuador”. En este contexto, específicamente se aborda el Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la sublíneas de Agricultura sostenible y sustentable.

2. DESARROLLO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Importancia de los macronutrientes en el cultivo de café

Los macronutrientes incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre; estos elementos son absorbidos por la planta en grandes cantidades. Es por eso que entre los ingredientes principales se incluye los fertilizantes, especialmente el café en producción; son nutrientes importantes que juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café. Estos nutrientes son necesarios para la síntesis de proteínas y la fotosíntesis, lo que garantiza la alta calidad y el sabor y aroma únicos de granos de café (Meneses & Urrutia 2021).

Uno de los aspectos más importantes de la investigación sobre nutrición vegetal es la extracción de nutrientes de las plantas en diferentes etapas de su crecimiento. Esta información, junto con los resultados sobre respuesta de fertilizantes, permite adaptar el plan de gestión y reducir el impacto económico y ecológico (Ube 2021).

La cantidad de nutrientes requeridos por las plantas de café depende de la interacción de factores como: 1) Necesidades de las plantas (especies y variedad), 2) Nivel de producción, 3) Condiciones del suelo, 4) Composición ambiental, y 5) Manejo. De acuerdo con lo anterior, continuar eliminando nutrientes del cultivo y agregar poco o ningún fertilizante reduce el rendimiento y aumenta la probabilidad de respuesta de fertilización (Jiménez 2022).

2.1.2. Efectos de los macronutrientes en el cultivo de café

2.1.2.1. Nitrógeno

El nitrógeno es un nutriente esencial en la producción de café, ya que contribuye al desarrollo de las plantas y les da su color verde. Este nutriente también forma parte de la clorofila y, a diferencia de los rendimientos anuales, los requerimientos de nitrógeno están determinados por sus rendimientos por hectárea en cultivos como el café, teniendo en cuenta el rendimiento y la edad de las plantas plantadas en el suelo. Con la ayuda de estas variables (rendimiento y edad del cultivo) es posible determinar con absoluta precisión la dosis de nitrógeno necesaria para el cultivo aportado por la fertilización nitrogenada (Calero 2021).

El nitrógeno ayuda a que la planta crezca vigorosamente y produzca un buen desarrollo de frutos porque mantiene las hojas verdes y brillantes y tiene buena transportabilidad. El nitrógeno participa en la utilización de carbohidratos y participa en la formación de compuestos orgánicos como aminoácidos y proteínas. Por tanto, forma parte del protoplasma celular y, por tanto, participa en la formación de clorofila. La deficiencia de nitrógeno provoca el color amarillento de la planta por falta de clorofila, caída de las hojas y muerte (Ayala *et al.* 2020).

La dosis de nitrógeno requerida para el cultivo está determinada por los resultados del análisis de suelo de la parcela donde se cultiva o cultiva el café, debido a que es importante tomar en cuenta el nitrógeno acumulado en el suelo (N soluble) y el N en eso. Sustancias orgánicas (N-mineralizables). Para mejorar la dosis de nitrógeno es necesario considerar la eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados, es decir, qué porcentaje de nitrógeno ha absorbido la planta (Añarumba *et al.* 2023).

En este caso, la capacidad de N más utilizada está entre el 50 y el 90%. En el primer año de cultivo de café se recomienda aplicar una dosis de 60 kg N/ha, en

el segundo año debemos agregar 125 kg N/ha, a partir del tercer año se aplica el resto de N, es decir digamos 250 kgN/ha. Estas dosis deben ajustarse según los resultados del análisis del suelo (Garza *et al.* 2020).

Cuando los niveles de MO son bajos (menos del 8%), se deben aplicar dosis máximas de nitrógeno. A medida que aumentan los niveles, la respuesta a este elemento disminuye y se debe reducir la cantidad de fertilizante; Sin embargo, en suelos con un alto contenido de MO (superior al 20%), el proceso de mineralización se ve afectado negativamente por las bajas temperaturas y es necesario aumentar las dosis (Julca *et al.* 2021).

La fuente más utilizada es la urea, debido a su alta concentración (46% N), lo que representa el menor costo por unidad de elemento suministrado. Aunque esta fuente produce ácido en el suelo, el impacto sobre la unidad de N es menor que el de otros fertilizantes nitrogenados como el sulfato de amonio, que se puede rotar con urea en suelos con pH alto (superior a 6,0) y libres de azufre (Urgiles *et al.* 2023).

2.1.2.2. Fósforo

Es el primer elemento que tiene una respuesta muy baja al cultivar café en esta zona incluso en suelos con bajo contenido de este elemento. El mayor uso de fósforo a través de fertilizantes orgánicos o en mezcla con fertilizantes orgánicos no ha mostrado respuestas fuertes y continuas a la producción, por lo cual su efecto se considera de poca magnitud y ocasional (Garzón y García 2020).

El fósforo interviene en algunos procesos metabólicos que estimulan la división celular, contribuyen al correcto desarrollo de las raíces y al crecimiento de nuevos brotes. También favorece la floración, el rendimiento, la producción y la calidad del fruto. El café necesita menos de este elemento que el nitrógeno y el

potasio. Los síntomas de deficiencia incluyen manchas rojas o marrones en las hojas (Amor 2020).

Después de suspender su aplicación por un tiempo determinado, puede ocurrir una reacción al fósforo; Se observó una disminución de la actividad tras eliminar este nutriente de los planes de fertilidad durante cuatro años (De Jesús 2022).

Actualmente, el principal fertilizante utilizado en el eje cafetalero es el fosfato diamónico (DAP), además del fósforo (46% P₂O₅) y N (18%). La eficiencia agronómica es mayor en suelos con pH bajo; otras fuentes son el superfosfato triple: SFT (46% P₂O₅ y 14% Ca) y fosfato de amonio-MAP (52% P₂O₅ y 11% N) (Corina & Yuquilema 2024).

La dosis más alta (60 kg/ha/año) se puede dividir en dos aplicaciones al año, la dosis media en una aplicación durante la cosecha principal y la dosis más baja (21 kg/ha/año P₂O₅), correspondiente a la de sostenimiento para una producción alta; se sugiere no utilizar en el primer año, pero se duplica (42 kg) durante la cosecha principal del segundo año. El método anterior tiene como objetivo simplificar el proceso de manejo para permitir la mezcla física de fertilizantes y proporcionar nutrientes cuando más se necesitan cuando se reducen los niveles iniciales de este elemento en el suelo (Contreras 2022).

La dosis de fertilizante fosforado para el cultivo de café está determinada por la concentración de este nutriente en el suelo. Una vez que obtenemos los datos de concentración de P a través del análisis del suelo, los comparamos con el rendimiento objetivo para calcular la cantidad de fósforo que el cultivo necesita para lograr el rendimiento esperado (Ferrua 2023).

En la producción de café, la cantidad de P requerida para la fertilización también depende de la edad del cultivo. Por lo tanto, en el primer año la dosis recomendada es de 20 kg P/ha, el segundo año 60 kg P/ha, a partir del tercer año la dosis recomendada es de 80 kg P/ha. De manera similar, para el N, la dosis de P debe ajustarse de acuerdo con la concentración de P disponible en el suelo, que es un valor que se obtiene del análisis químico del suelo (Villegas 2021).

2.1.2.3. Potasio

El potasio interviene en la formación y transporte de almidones como sustancia de reserva. Además, da uniformidad a los tejidos y aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades, ayuda a mantener el nivel del agua en la planta, reduciendo así la tasa de mortalidad. Su debilidad es la muerte de las hojas (necrosis), que comienza desde la parte superior de la hoja, se extiende hasta los bordes y finalmente mata la planta (Calero & Velásquez 2023).

El potasio garantiza el rendimiento y la calidad de los frutos, el transporte de azúcar, el control estomático y la cooperación de muchas enzimas. Reduce la susceptibilidad de la planta a las enfermedades, el impacto de la sequía y es importante para el uso eficiente del nitrógeno. Mejora el color, la calidad y la durabilidad de los productos de café (Pizaña 2023).

En términos de frecuencia y respuesta al suministro de nutrientes, el potasio ocupa el segundo lugar después del nitrógeno. Aunque la planta del café absorbe este nutriente con el tiempo, la necesidad aumenta cuando los granos están llenos (López 2024).

En estudios realizados en diferentes zonas de producción, se demostró que los cafetos sin acceso al sol o con muy poca sombra responden muy bien a la fertilización alcalina cuando el contenido de sal es inferior a 0,2 cmol/kg. En el caso relevante, la

producción se reduce en aproximadamente un 30%, por lo que se consideran dosis altas (Palacios & Chea 2024).

Para niveles entre 0,2 y 0,4 cmol/kg, la reducción funcional fue menor (entre 10 y 30%). Si el contenido es superior a 0,4 cmol/kg, se recomienda aplicar una dosis de mantenimiento para evitar el agotamiento de los nutrientes del suelo. Para cafetos con un nivel de sombra superior al 35% y una densidad inferior a 5.000 plantas o avispa/ha, la producción no es muy alta, se puede suspender la fertilización potásica si el nivel del suelo de este elemento es superior a 0,8 cmol/kg (Moreira 2024).

Para niveles de potasio entre 0,6 y 0,8, se recomienda utilizar la misma cantidad (120 a 140 kg/ha/año K₂O) en una dosis al inicio del período de llenado, incluso en la época de la gran cosecha. . De igual forma, se recomienda no utilizar la dosis más baja (100 kg/ha/año K₂O) en el primer año, sino en el segundo año duplicar la dosis (200 kg/ha/año K₂O); se puede dividir en dos aplicaciones (Moreira 2024).

La información anterior está contenida en los siguientes apartados: i) si la solicitud se presenta en el primer año (justo al final de la presentación), no será contestada, según el nivel del zapato K es muy alto ; Por tanto, este nutriente se vuelve más vulnerable y compite con otros nutrientes, especialmente el Mg; ii) en el segundo año, cuando el contenido de K en el suelo se reduce debido a la minería y la lixiviación o la siembra, la probabilidad de una aplicación exitosa es a veces mayor; y iii) es más fácil obtener una mezcla física de fertilizantes potásicos con otros como urea o DAP porque son más abundantes (Martínez & Mejía 2021).

El potasio es un nutriente junto con el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el sodio (Na), en su mayoría bases transitorias en el suelo. La concentración de K en

el suelo determina, además del rendimiento, la dosis de este nutriente requerido por el cultivo. Al igual que con otros macronutrientes, la dosis es de 60 kg K/ha el primer año, 125 kg K/ha el segundo año y 250 kg K/ha a partir del tercer año. La dosis recomendada debe ajustarse tomando en cuenta la concentración de este nutriente en el suelo, el rendimiento objetivo y la edad del cafeto. Este nutriente se puede añadir al suelo en forma de sulfato o nitrato de potasio (Palacios & Chea 2024).

2.1.2.4. Magnesio

El magnesio es un componente importante de la clorofila ("hojas verdes") y por tanto es esencial para la síntesis, transporte y almacenamiento de importantes compuestos vegetales (hidratos de carbono, proteínas, grasas). Es importante en todos los procesos de fosforilación de las plantas, apoya el metabolismo, la transformación y la acumulación de energía. Es decir, durante la fotosíntesis, síntesis de carbohidratos, proteínas, descomposición de carbohidratos en ácido pirúvico(respiración). Participa en la formación de paredes celulares. Es hidratante, por lo que afecta al equilibrio hídrico y a la eficiencia enzimática (Peña 2023).

El magnesio garantiza el rendimiento y la calidad de los frutos, el transporte de azúcar, el control estomático y la cooperación de muchas enzimas; reduce la susceptibilidad de la planta a las enfermedades, el impacto de la sequía y es importante para el uso eficiente del nitrógeno; mejora el color, la calidad y la durabilidad de los productos de café (Enríquez 2022).

Para que el magnesio sea útil, el contenido del suelo debe mantenerse en niveles apropiados y debe evitarse la absorción. Por lo anterior, se recomienda utilizar este elemento en dosis entre 15 y 60 kg MgO/ha/año. Se podrán administrar dosis mayores en una o dos aplicaciones, pero por cuestiones administrativas, como se explicó anteriormente, se considera que en el primer año no se requiere dosis de

mantenimiento (15 kg), pero en el segundo año se duplica la cantidad a (30 kilos) (Ramos 2023).

Estudios realizados por Cenicafé demostraron que la absorción de Mg por parte del cafeto se ve afectada por el contenido de K del suelo y viceversa, no afecta la producción en general; Por esta razón, no existe un nivel crítico para las relaciones entre estas bases intercambiables, y sólo se da la relación Ca:Mg:K ideal (6:2:1), dependiendo del contenido de estos nutrientes en el medio. de suelo (2,4 cmol/kgCa, 0,8 cmol/kg Mg y 0,4 cmol/kg K). Cabe señalar que los cationes tienen diferentes cargas (mono y divalentes), propiedad que incide en la capacidad de retención de los coloides del suelo (Pérez 2021).

Además, los suelos de la zona cafetalera pueden tener diferente comportamiento de retención de estos cationes, es decir, en ocasiones retienen más de un elemento que de otro. No es posible obtener resultados basados en la posibilidad de "competencia" y antagonismo entre K y Mg. Se pueden realizar ciertos cambios en los esquemas de fertilización para proporcionar una mejor nutrición a las plantas, ante la necesidad de cambiar las relaciones de bases actuales. Los niveles de K son inferiores a 0,80 cmol/kg, utilizados como caliza dolomítica en dosis de 800 kg/ha y más, pueden representar fuentes adicionales de Mg para un año. Para contenidos de K > 0,80 cmol/kg, se puede suministrar una fuente adicional de Mg anualmente. (preferiblemente de alta solubilidad), independientemente de su uso como caliza dolomítica (Muñoz *et al.* 2023).

Las fuentes de magnesio más utilizadas son: óxido de Mg (88% MgO), carbonato de Mg (40% MgO), sulfato de Mg (mínimo 18% MgO y 10% S) o kieserita (25% MgO y 20% S) (Jiménez 2022).

Al igual que con otros nutrientes, los requerimientos de magnesio en el cultivo de café están determinados por el rendimiento esperado, la edad del cultivo y la concentración de este nutriente en el suelo. Las dosis de este macronutriente varían entre 1 y 10 kg por hectárea, pero siempre se debe considerar un análisis de suelo para determinar la dosis correcta (Campos 2023).

2.1.2.5. Calcio

El calcio es un nutriente estructural porque forma parte de las paredes y membranas celulares, por lo que es importante para la formación de nuevas células vegetales. Las raíces reciben calcio del sustrato en forma iónica Ca^{2+} . La absorción de calcio se limita a la región cercana al ápice de la raíz, mientras que la transferencia de calcio desde el núcleo del tallo se limita a la vía apoplástica o normal, una vía que ingresa a las regiones jóvenes desde las raíces, lo que indica la importancia de este nutriente en el café. Cabe señalar que la absorción de calcio se produce de forma natural, lo que favorece el aumento de savia del xilema debido a la corriente de transpiración; las condiciones ocurren durante el día, por lo que la absorción de calcio se detiene por la noche (Álvarez 2023)

El calcio es importante para el crecimiento de las raíces; este elemento juega un papel importante como regulador del crecimiento de las plantas, en su desarrollo y en su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas, mejorando así la resistencia a enfermedades; se debe evaluar el efecto del fósforo y calcio sobre el desarrollo de las plantas y determinar las dosis necesarias para mejorar el rendimiento del café (Muñoz *et al.* 2023).

Se realizaron varios experimentos para evaluar el efecto de la aplicación de calcio en el rendimiento del café. Según este estudio, los tratamientos que utilizaron altas dosis de calcio lograron mejores resultados que la planta del café. También se realizó un experimento para evaluar diferentes aplicaciones de calcio y boro a

plantas jóvenes, las cuales mejoraron el desarrollo del diámetro del tallo, número de hojas, ramas laterales y volumen de raíces. en comparación con el tratamiento convencional (Muñoz *et al.* 2023).

2.1.2.6. Azufre

Se considera muy importante en la nutrición vegetal. Ayuda a fortalecer la estructura de la planta y apoya la resistencia al frío y al ataque de plagas y enfermedades. Tiene la misma concentración en el tejido vegetal que el fósforo, lo que lo convierte en el cuarto elemento más importante en la agricultura después del nitrógeno, el fósforo y el potasio (Jiménez 2022).

Las deficiencias de este nutriente rara vez ocurren en los cafetales. Se pudo confirmar que los suelos con alto contenido de MO, como los Andisoles, tienen un alto contenido de S total. Sin perjuicio de la información anterior, esta función no garantiza la disponibilidad de esta función para las plantas) (Lucio & Javier 2022).

Estudios recientes han demostrado que en suelos con muy bajo contenido ($S < 6$ mg/kg), los cafetales responden a la aplicación de 50 a 60 kg/ha/año y suelos ricos ($6 < S < 12$ mg/kg), sólo se necesitan de 25 a 30 kg/ha/año (Camacho *et al.* 2024).

2.1.3. Síntomas de deficiencia de los macronutrientes en el cultivo de café

2.1.3.1. Nitrógeno

Los síntomas comienzan en las hojas jóvenes y medianas. Es de color amarillo verdoso a verde pálido y cubre toda la superficie de las hojas, a veces con una ligera clorosis intervenal en la superficie. Las hojas se vuelven amarillas más rápido bajo la luz solar directa. Si la deficiencia es más grave, la clorosis se extenderá a todas las hojas y aparecerá la necrosis en las primeras hojas. Se

presenta una fuerte atrofia en el crecimiento y con frecuencia se produce defoliación prematura del cultivo (Flechas y Acuña 2022).

La deficiencia de nitrógeno (N) se presenta en las hojas más viejas. Sin embargo, aparece por primera vez en la planta del café en las partes más expuestas al sol. La clorosis por nitrógeno (N) y azufre (S) son muy similares. Cuando falta nitrógeno (N), la superficie de las hojas será opaca, cuando falta S, la superficie será brillante (Bejarano & Zornosa 2022).

2.1.3.2. Fosforo

Las hojas viejas muestran un moteado clorótico entre las venas. Pueden aparecer puntos necróticos en las hojas bajas que finalmente se ponen marrones, se secan y se caen prematuramente. Las hojas jóvenes permanecen de un color verde oscuro. El crecimiento se ve seriamente atrofiado y los entrenudos se acortan. Los síntomas visuales de deficiencia de fósforo son poco comunes en el campo (Araújo *et al.* 2020).

2.1.3.3. Potasio

En hojas viejas o muy jóvenes aparece clorosis o coloración amarillenta, que se extiende desde los bordes hasta la base. Aparecen áreas necróticas en el tejido clorótico. Si la deficiencia es grave, aparecen manchas oscuras en las puntas y lados de las hojas. La muerte de las hojas es un síntoma de deficiencia de potasio (K); además, aparecen manchas marrones opacas, a partir de las venas. El crecimiento se reduce, pero la altura de la planta no se ve afectada significativamente (Pizaña 2023).

2.1.3.4. Magnesio

La clorosis de color amarillo verdoso a naranja o bronce comienza cerca de la nervadura central y progresa entre las venas. Un área estrecha en un lado del centro y las venas laterales permanecen verdes, dando a las hojas una apariencia moteada. Pueden desarrollarse áreas necróticas irregulares con síntomas en el tejido clorótico. Se pueden ver pequeñas manchas anaranjadas hundidas en los bordes de las hojas o las venas. Los síntomas llamados aparecen primero en las hojas más viejas y desaparecen si la deficiencia persiste. En algunos casos, el amarillamiento entre hojas es similar a los síntomas de Mn, B y Zn, pero la deficiencia de magnesio aparece primero en las hojas más viejas (Farfán 2021).

Los síntomas de la falta de este elemento se manifiestan principalmente en las ramas productivas, durante el llenado del grano, en ocasiones las hojas resultan gravemente dañadas. Su absorción, y por tanto su concentración en las hojas, afecta negativamente a la fertilización con potasio (Villegas 2021).

2.1.3.5. Calcio

Las hojas jóvenes desarrollan clorosis irregular y una "puntada" de color amarillo verdoso a lo largo del borde que aparece en la vena central. Esto puede dejar un área rugosa alrededor de las venas principales. Los bordes de las hojas aparecen arrugados, las hojas se curvan hacia abajo y terminan con un borde curvo (Tello 2023).

La deficiencia de calcio es más común en cafetos pequeños con un sistema radicular poco desarrollado. El calcio es un elemento esencial y las deficiencias aparecerán por primera vez en los nuevos brotes. La deficiencia de boro provoca una clorosis similar; en principio, las deficiencias de Ca y B se combinan (Araguillin 2023).

2.1.3.6. Azufre

Las hojas jóvenes desarrollan clorosis intervenal de color amarillo verdoso y luego se vuelven frondosas; a medida que la deficiencia continúa, aparecen puntas anaranjadas y manchas necróticas marrones en los costados e intervenal de la hoja; el crecimiento se reduce significativamente (Asturizaga 2024).

Los síntomas de la deficiencia de azufre (S) y nitrógeno (N) son similares, pero ocurren en diferentes partes de la planta; la clorosis y la necrosis debidas a la deficiencia de azufre (S) aparecen primero en las hojas jóvenes, mientras que los síntomas de la deficiencia de nitrógeno (N) comienzan en las hojas más viejas. Si nitrógeno (N) es débil, la superficie de la hoja será opaca, pero si azufre (S) es débil, será más brillante (Martínez & Mejía 2021).

2.1.4. Necesidades nutricionales de macronutrientes para la producción del cultivo de café

Cuando el café crece en condiciones muy fuertes a pleno sol, las plantas necesitan muchos nutrientes. Los requerimientos de fertilizantes son menores cuando están maduros, generalmente en los dos primeros años de crecimiento. En esta etapa, es importante no utilizar demasiado nitrógeno, ya que esto creará una parte aérea blanda que afectará el crecimiento de las raíces (Chele 2022).

Las aplicaciones de nutrientes son mayores cuando los cultivos están en su punto máximo, tres años o más. Precisamente en esta categoría es importante el transporte de nutrientes en las frutas. El café generalmente se cultiva en terrenos inclinados y en áreas con abundantes precipitaciones, donde la pérdida de nutrientes por lixiviación del suelo es una preocupación importante (Huaman 2022).

En los cafetos la acumulación de nutrientes es lenta en el primer período de crecimiento de la planta, pero aumenta y alcanza los siguientes valores 2000 días después de la siembra: 547 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 51 kg ha⁻¹ de fósforo (P), 508 kg ha⁻¹ de potasio (K), 234 kg ha⁻¹ de calcio (Ca) y 59 y 117 kg ha⁻¹ de magnesio (Mg) (Jiménez 2022).

Parte de las cantidades mencionadas está incluida en los productos, es decir, en los que fueron eliminados de la serie; el resto regresa al suelo en forma de hojas, tallos, raíces, flores, etc. La concentración de nutrientes en los granos de café al momento de la cosecha puede mostrar ligeras diferencias entre ubicaciones debido a los factores anteriores (Resabala 2023).

Hay cantidades iguales de nitrógeno y potasio; el consumo de ambos varía entre 150 y 250 kg/ha en plantas adultas (Arias 2023).

Tabla 1. Absorción de macronutrientes en plantas de café de 3 a 6 años de edad

Nutrientes	Absorción (kg/ha/año)
N	163
P ₂ O ₅	26
K ₂ O	154
CaO	74
MgO	33
S	14

Fuente: (Asturizaga 2024)

Tabla 2. Remoción de macronutrientes por cosecha (1000 kg)

Nutrientes	Remoción (kg/ha/año)	
	Café oro	Cereza entera
N	17	34,8
P ₂ O ₅	2,5	5,7
K ₂ O	19	64,5
CaO	3,9	9,9
MgO	2,6	4,6
S	1,3	2,9

Fuente: (Asturizaga 2024)

2.1.5. Condiciones del suelo

Para el establecimiento del cultivo de café el suelo es un factor importante que se debe seleccionar en base a su drenaje y permeabilidad, así como su potencial nutricional, desde este punto de vista se debe tener en cuenta los suelos de ladera que normalmente son pobres nutricionalmente. Teniendo estas consideraciones, se debe seleccionar un suelo suelto (buen drenaje), con pendientes menores de 30 % (potencial nutricional), de buena profundidad (Muñoz 2024).

Entre las propiedades físicas recomendadas podemos citar, color, Textura, Estructura, Porosidad, Permeabilidad, Profundidad efectiva. En términos generales, el color negro de los suelos indica un buen contenido de materia orgánica. Los suelos oscuros (molisoles) francos son los mejores para el café y los cultivos, en general (Villegas 2021).

El suelo debe tener las condiciones de disponibilidad de agua y buen drenaje para realizar labores de fertilización, en la cual se genere una correcta

solubilización y absorción de los nutrientes en las plantas de café, minimizando pérdidas en las aplicaciones de fertilizantes (Jiménez 2022).

2.1.6. Épocas de aplicación

Las plantas de café absorben los nutrientes sólo cuando el suelo está húmedo; además, se necesita del agua para disolver los fertilizantes. La decisión de aplicar el fertilizante debe basarse en la disponibilidad de agua, la cual está gobernada principalmente por la cantidad y la distribución de las lluvias (Sadeghian y Duque 2017).

Los mismos autores señalan que es necesario procurar que al momento de realizar la fertilización el suelo esté húmedo en los primeros 10 cm, por la acción de las lluvias, en los días previos a la labor; así mismo, que exista una alta probabilidad de que siga lloviendo durante los dos próximos meses, para que el suelo permanezca húmedo.

Cuando la distribución de la precipitación es de tipo bimodal, generalmente se recomienda realizar la aplicación al inicio de cada época lluviosa. En el caso que fuese unimodal, se sugiere llevar a cabo la primera fertilización al comenzar el período lluvioso y la segunda dos a tres meses antes de que finalicen la temporada húmeda (Sadeghian y Duque 2017).

Para la aplicación de una determinada cantidad se debe considerar el factor suelo, en relación con la presencia de nutrientes, los mismos que deben ser reducidos de la extracción total, pero también de las condiciones bajo las cuales se lleva el cultivo, por ejemplo, el manejo de la sombra, que afecta la actividad de la planta y por tanto la demanda de nutrientes o con el reciclaje de nutrientes como el caso de la pulpa (Campos 2023).

2.2. Metodología

La elaboración del documento bibliográfico se basó en la recopilación de información de textos actualizados, bibliotecas virtuales, revistas, páginas web y artículos científicos que contribuyeron con el desarrollo de la investigación sobre los macronutrientes y su importancia en el cultivo de café (*C. arábica*) en el Ecuador. La presente investigación se desarrolló como componente no experimental de carácter bibliográfico, mediante una técnica de análisis, síntesis y resumen de la información obtenida.

2.3. Resultados

Los macronutrientes incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre; estos elementos son absorbidos por la planta en grandes cantidades. Es por eso que entre los ingredientes principales se incluye los fertilizantes, especialmente el café en producción; son nutrientes importantes que juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café. Estos nutrientes son necesarios para la síntesis de proteínas y la fotosíntesis, lo que garantiza la alta calidad y el sabor y aroma únicos de granos de café.

La cantidad de nutrientes requeridos por las plantas de café depende de la interacción de factores como: 1) Necesidades de las plantas (especies y variedad), 2) Nivel de producción, 3) Condiciones del suelo, 4) Composición ambiental, y 5) Manejo.

El cultivo de café crece en condiciones muy fuertes a pleno sol, las plantas necesitan muchos nutrientes. Los requerimientos de fertilizantes son menores cuando están maduros, generalmente en los dos primeros años de crecimiento. En esta etapa, es importante no utilizar demasiado nitrógeno, ya que esto creará una parte aérea blanda que afectará el crecimiento de las raíces

Las aplicaciones de macronutrientes son mayores cuando el cultivo de café está en su punto máximo, tres años o más. Precisamente en esta categoría es importante el transporte de nutrientes en las frutas. El café generalmente se cultiva en terrenos inclinados y en áreas con abundantes precipitaciones, donde la pérdida de nutrientes por lixiviación del suelo es una preocupación importante.

2.4. Discusión de resultados

Los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre) se puede puntualizar que son los elementos fundamentales que se necesitan en mayores proporciones para garantizar y optimizar el desarrollo y la perduración del cultivo de café. Es importante hacer énfasis en su adecuado manejo e implementación en los planes de fertilización con las dosis adecuadas, para alcanzar mayores estándares en la calidad de los frutos producidos, donde Ube (2021) manifiesta que el crecimiento y el desarrollo de los cafetales, y por ende su producción y rentabilidad, depende en buena medida de una adecuada nutrición, la cual se logra cuando la planta dispone de cantidades suficientes y balanceadas de todos los nutrientes requeridos. Adicionalmente, los cultivos correctamente alimentados ofrecen una mejor calidad del grano y son más resistentes a plagas, enfermedades, sequía y otras condiciones adversas.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Mediante la información analizada se presenta las siguientes conclusiones:

- Los macronutrientes incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre son elementos que son absorbidos por la planta en grandes cantidades, juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café.
- El nitrógeno ayuda a que la planta crezca vigorosamente y produzca un buen desarrollo de frutos porque mantiene las hojas verdes y brillantes y tiene buena transportabilidad.
- El fósforo interviene en algunos procesos metabólicos que estimulan la división celular, correcto desarrollo de las raíces y al crecimiento de nuevos brotes; favorece la floración, el rendimiento, la producción y la calidad del fruto del café.
- El potasio garantiza el rendimiento y la calidad de los frutos, el transporte de azúcar, el control estomático; reduce la susceptibilidad de la planta a las enfermedades, el impacto de la sequía.
- El magnesio garantiza el rendimiento y la calidad de los frutos, el transporte de azúcar, el control estomático; reduce la susceptibilidad de la planta a las enfermedades, mejora el color, la calidad y la durabilidad de los productos de café.
- El calcio es importante para el crecimiento de las raíces; este elemento juega un papel importante como regulador del crecimiento de las plantas, en su desarrollo y en su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas, mejorando así la resistencia a enfermedades.

- El azufre ayuda a fortalecer la estructura de la planta y apoya la resistencia al frío y al ataque de plagas y enfermedades.
- Las necesidades nutricionales de macronutrientes en plantas de café de 3 a 6 años de edad es la siguiente: 163 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 26 kg ha⁻¹ de fósforo (P), 154 kg ha⁻¹ de potasio (K), 74 kg ha⁻¹ de calcio (Ca), 33 kg ha⁻¹ de magnesio (Mg) y 14 kg ha⁻¹ de azufre (S) en los suelos oscuros (molisoles) francos.

3.2. Recomendaciones

Por lo consiguiente se recomienda:

- Realizar un análisis de suelo antes de efectuar un programa de fertilización, con la finalidad de mejorar el rendimiento potencial del cultivo de café.
- Establecer programas de fertilización con macronutrientes y micronutrientes de forma adecuada en las etapas recomendadas del cultivo.
- Aplicar técnicas de fertilización foliar y edáfica de forma complementaria en las etapas de requerimiento nutricional del cultivo de café.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias

- Anchundia, G., Carranza, A. H. 2023. Producción de las variedades de café ecorobusta, conilón y napopayamino (año 2) empleando microorganismos eficientes y abonos orgánicos (en línea). Tesis de grado. Ecuador. Universidad Técnica de Cotopaxi. Consultado 26 may. 2024. Disponible en utc.edu.ec
- Arias, J. 2023. Análisis de dos tratamientos pre-germinativos y cuatro sustratos en la propagación sexual de *Coffea arabica* L. (CAFÉ) en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo (en línea). Tesis Ing. Agr. Riobamba. ESPOCH. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18583>
- Añarumba, J., Lozada, E., Murillo, R., & Pettao, R. 2023. Producción de café (*coffea canephora* p.) en el subtrópico ecuatoriano en respuesta a diferentes niveles de fertilización inorgánica-orgánica (en línea). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 7(1): 2750-2761.
- Amor, V. 2020. CAPÍTULO 1 Características generales de los hongos. *Micología en Medicina Veterinaria*. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <https://www.fcv.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/2023/11/MICOLOGIA-EN-MEDICINA-VETERINARIA.pdf>
- Araújo, F., Cruz, R., Porto, D., Machado, C., & França, A. 2020. Effects of mycorrhizal association and phosphate fertilization on the initial growth of coffee plants (en línea). *Pesquisa Agropecuária Tropical* 50: e58646.

- 4Araguillin, N. 2023. Evaluación morfoagronómica de variedades de Coffea arabica L. y su relación con la sustentabilidad de fincas cafeteras del cantón Cotacachi, provincia de Imbabura (en línea). Tesis Ing. Agr. Ecuador. UTN. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14674>
- Álvarez, A. 2023. Efecto de tres especies de sombra en las propiedades fisicoquímicas del suelo y rendimiento de café (Coffea arabica) Oxapampa-Pasco (en línea). Tesis Ing. Agr. Peru. UNDAC. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3536>
- Ayala, D., Monterroso, A., Baca, J., Escamilla, E., Sánchez, R., Pérez, J., & Valdés, E. 2020. Identificación de necesidades de investigación sobre la dinámica de carbono y nitrógeno en sistemas agroforestales de café en México (en línea). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23(99): 1-16.
- Asturizaga, M. 2024. Evaluación del efecto de la dolomita sobre las propiedades químicas del suelo del cultivo de café (Coffea arabica) en la comunidad Villa Victoria segundo, tercer bando cantón Taipiplaya del municipio Caranavi (en línea). Tesis Ing. Agr. UMSA. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/35520>
- Bejarano, N. & Zornosa, J. 2022. Evaluación del efecto de la aplicación de una fuente carbonatada en plantas de café en almácigo (en línea). *Revista Cenicafé* 73(1): 73104. <https://doi.org/10.38141/10778/73104>
- Corina, C. & Yuquilema, J. 2024. Determinación de la calidad físico-química del suelo, en tres estratos agrícolas, en dos localidades de la provincia Bolívar (en línea). Tesis Ing. Agr. Ecuador. UEB. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <https://www.dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/6903>

- Camacho, P., Rojas, P., Meneses, C., Garita, O., & Zúñiga, V. 2024. Evaluación del biofertilizante generado por el lixiviado del compost de la pulpa de café (en línea). *Repertorio Científico* 27(1): 49-60.
- Contreras, J. 2022. Influencia de la fertilización en la producción y calidad de la pitahaya (*Selenicereus undatus*) en el Ecuador (en línea). Tesis Ing. Agr. Ecuador. UTB. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11374>
- Chele, J. 2022. Respuesta comparativa entre dos híbridos y dos variedades de café a la fertilización ecológica en etapa de crecimiento (en línea). Tesis Ing. Agr. Manabi. UNSESUM. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/925/browse?type=author&sort_by=1&order=ASC&rpp=20&etal=-1&value=Valverde+Lucio%2C+Yhonny+Alfredo&starts_with=N
- Cosme, A. 2023. Determinación del estado trófico utilizando índices numéricos en la laguna la pampa, humedales de Villa, Lima-Perú (en línea). Tesis Ing. Amb. Perú. UNFV. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: file:///C:/Users/hp/Downloads/TESIS_COSME_FUSTAMANTE_ALBERTO_PEDRO.pdf
- Calero, A. 2021. Efecto del potasio en la producción y calidad del fruto en el cultivo del café en la región litoral del Ecuador (en línea). Tesis Ing. Agr. Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9220?show=full>
- Calero, J. & Velásquez, A. 2023. Producción de cinco variedades de café (*Coffea*) con la aplicación de tres bioestimulantes en el Centro Experimental Sacha

Wiwa (en línea). Tesis Ing. Agr. Machala. UTC. Consultado 22 jul. 2024.
Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11351>

Contreras, O. 2022. Nutrientes esenciales en el cultivo de Café (*Coffea arábica* L.) en Ecuador (en línea). Tesis de grado. Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo. 28 p.

Campos, Y. 2023. Implementación de 2000 m² de café (*Coffea arábica*) variedad castillo como propuesta de mejoramiento productivo al sistema tradicional de los cafeteros de la de la Vereda San Pedro, municipio de Rovira – Tolima (en línea). Tesis Ing. Agr. Colombia. UNISALLE. Consultado 22 jul. 2024.
Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/297/

De Jesús, V. 2022. Efecto de la roca fosfórica en la producción de gerbera (*Gerbera jamesonii*) en cultivo sin suelo (en línea). Tesis Ing. Agr. México. UAAAN. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/49870>

Farfán, F. 2021. La caficultura bajo sombra para el departamento de Huila (en línea). *Cenicafé* 2: 96–123. https://doi.org/10.38141/10791/0008_4

Enríquez, R. 2022. Estudio fisiológico en semillas y plántulas de maíz tratadas con nanopartículas de óxido de magnesio y expuestas a ambientes salinos (en línea). Tesis Ing. Agr. México. UAAAN. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/handle/123456789/48472>

Ferrua, H. 2023. Evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de cacao en el distrito de Canayre-Huanta-Ayacucho. 2022 (en línea). Tesis Ing. Agr. Perú. UNSCH. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en:

https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1421/browse?type=subject&sort_by=1&order=ASC&rpp=20&etal=-1&value=Cultivo&offset=33

Flechas, N., & Acuña, J. 2022. Evaluación del efecto de la aplicación de una fuente carbonatada en plantas de café en almácigo (en línea). *Revista Cenicafé* 73(1): e73104-e73104.

Ferrua, H. 2023. Evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de cacao en el distrito de Canayre-Huanta-Ayacucho. 2022 (en línea). Tesis Ing. Agr. Peru. UNSCH. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: [unsch.edu.pe https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1447/simple-search?query=&sort_by=score&order=desc&rpp=10&filter_field_1=has_content_in_original_bundle&filter_type_1>equals&filter_value_1=true&filter_field_2=subject&filter_type_2>equals&filter_value_2=Cultivo&etal=0&filtername=dateIssued&filterquery=%5B2020+TO+2024%5D&filtertype>equals](https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1447/simple-search?query=&sort_by=score&order=desc&rpp=10&filter_field_1=has_content_in_original_bundle&filter_type_1>equals&filter_value_1=true&filter_field_2=subject&filter_type_2>equals&filter_value_2=Cultivo&etal=0&filtername=dateIssued&filterquery=%5B2020+TO+2024%5D&filtertype>equals)

Garzón, J., & García, V. 2020. Problemas y metabolismo nutricional de la variedad tinto fino en la Ribera del Duero. *Viticultura y enología en la Ribera del Duero. Ponencias del II Curso Viticultura y Enología en la Ribera del Duero*, 23-28.

Garza, R., Maldonado, R., Álvarez, M., & Buendía, J. 2020. Aporte nutrimental de especies arbóreas fijadoras de nitrógeno en sistemas agroforestales con café. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 11(4): 801-814.

Garay, M. 2023. Análisis de las exportaciones tradicionales sobre el crecimiento económico en Ecuador desde el año 2007 al 2021 (en línea). Tesis de grado. Ecuador. Universidad del Azuay. Consultado 26 may. 2024. Disponible en uazuay.edu.ec

- Huaman, E. 2022. Utilización de la pulpa de café para mejorar la fertilidad de los suelos cafetaleros del centro poblado Alto Ihuamaca, 2022 (en línea). Tesis Ing. Agr. Perú. UCV. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91612>
- Jiménez, E. 2022. Elementos nutritivos y manejo de la fertilización mineral en el cultivo del café (*coffea arabica*) en ecuador (en línea). Tesis Ing. Agr. Ecuador. Universidad Técnica de Machala. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/2467/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=15&etal=5&null=&offset=15
- Julca, M., Cuba, M., Pintado, B., & Castillo, R. 2021. Biofertilización con micro organismos eficientes de montaña para producción de cafés especiales resilientes al cambio climático provincia de San Ignacio. Revista Científica Pakamuros 9(2).
- López, J. 2024. Efectos del poliacrilato de potasio y NPsZnO en el crecimiento del pimiento morrón (*Capsicum annum L.*) (en línea). Tesis Ing. Agr. México. UAAAN. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/49847>
- Lucio, C. & Javier, O. (2022). Nutrientes esenciales en el cultivo de Café (*Coffea arábica L.*) en Ecuador (en línea). Tesis Ing. Agr. Babahoyo. UTB. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11343>
- Meneses, J. & Urrutia, S. 2021. Desarrollo de una red de sensores para monitoreo de macronutrientes primarios para cultivo de café aplicado a un caso de estudio en Tecnicafé (en línea). Tesis Ing. E. Colombia. UNIAUTONOMA.

98. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en:
<https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/661/T%20E-M%20082%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, K. & Mejía, S. 2021. Evaluación del desarrollo y de la productividad del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) con el uso de fertilizantes foliares complejados en Juayúa, Sonsonate, El Salvador (en línea). Tesis Ing. Agr. El Salvador. Universidad de El Salvador. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/23989/>

Moreira, A. 2024. Desarrollo agro morfológico del café (*Coffea arabica* L.) hib. Sarchimor4260 a la aplicación de *Trichoderma* durante su primera etapa de crecimiento en el sitio definitivo (en línea). Tesis Ing. Agr. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6270>

Muñoz, C., Cobos, C., & Muñoz, J. 2023. Predicción del rendimiento de cultivos de café: un mapeo sistemático. *Ingeniería y competitividad* 25(3): 30513171.

Muñoz, K. 2024. Aislamiento, caracterización e identificación de bacterias con capacidad fijadora de nitrógeno atmosférico asociadas con la rizosfera de *Solanum tuberosum* L. Var. Superchola (en línea). Tesis de grado. Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. Consultado 26 may. 2024. Disponible en uta.edu.ec

Palacios, A. & Chea, L. 2024. Creación de guía alimentaria para niños, integrantes de familias en pobreza extrema ubicados en el aserradero la Esmeralda, zona 13 de la ciudad capital. Tesis. Universidad Galileo. 89 p.

- Pizaña, R. 2023. Evaluación de la digestibilidad proteica de residuos de café y el potencial de sus péptidos bioactivos para el manejo del síndrome metabólico (en línea). Tesis Maestría. México. Universidad Autónoma de Nuevo León. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/25256/1/1080328771.pdf>
- Peña, A. 2023. Efecto de la fertilización de nitrógeno y magnesio sobre la concentración de clorofila en el híbrido de maíz (*Zea mays* L.) en la zona de Pueblo Viejo (en línea). Tesis Ing. Agr. Ecuador. UTB. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13891>
- Pérez, G. 2021. Efecto del método de aplicación del fertilizante químico en la productividad del cultivo de café (*Coffea arabica*). Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable 5(3): 9-12.
- Ramos, E. 2023. Eficiencia agronómica del sulfato de magnesio para la emisión foliar del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la Parroquia Isla de Bejucal, cantón Baba (en línea). Tesis Ing. Agr. Ecuador. UTB. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13906>
- Resabala, K. 2023. Caracterización físico químicas de los suelos cafetaleros del Cantón Santa Ana de la Provincia de Manabí-Ecuador (en línea). Tesis Ing. Agr. Manabí. UNESUM. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3664?mode=full>
- Sadeghian K., S.; Duque O., H. 2017. Formulaciones generales de fertilizantes: Alternativas para una nutrición balanceada de los cafetales en Colombia. Avances Técnicos No. 483. Manizales: CENICAFÉ, 4 p

- Sadeghian K., S.; Duque O., H. 2017. Nutrición de los cafetales en Colombia: En escenarios El Niño. Avances Técnicos No. 477. Manizales: CENICAFÉ, 12 p.
- Tello, M. 2023. Distribución espacial de la calidad del suelo en plantaciones de *Coffea arábica* (café) en el fundo “Domínguez”–Pueblo Libre-2021 (en línea). Tesis Ing. Agr. Perú. UNAS. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: https://bibliotecaopac.unas.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=186199&query_desc=pb%3AUniversidad%20Nacional%20Agraria%20de%20la%20Selva%2C%20Facultad%20de%20Recursos%20Naturales%20Renovables
- Ube, J. 2021. Importancia del nitrógeno para el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de café (*Coffea* spp.) en Ecuador. Tesis de grado. Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo. 19 p.
- Urgiles, N., Loján, P., Ávila-Salem, M., Benavidez, C., Hurtado, L., Livisaca, F., & Quichimbo, L. 2023. Microorganismos benéficos con potencial agrícola: Una alternativa sostenible para la producción de café y calidad del suelo. *Cedamaz* 13(1): 103-113.
- Villegas, L. 2021. Evaluación del impacto de la aplicación de porcínaza en el suelo como fertilizante nitrogenado de cultivos de café (en línea). Tesis Ing. Agr. Colombia. UNAL. Consultado 22 jul. 2024. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80474>

4.2. ANEXOS



Figura 1. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en café



Figura 2. Síntomas de deficiencia de fósforo en café



Figura 3. Síntomas de deficiencia de potasio en café



Figura 4. Síntomas de deficiencia de magnesio en café



Figura 5. Síntomas de deficiencia de calcio en café



Figura 6. Síntomas de deficiencia de azufre en café