

DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DE SUELOS EN DOS PARCELAS PARA CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*) Y CAFÉ (*Coffea arabica*) EN EL MUNICIPIO DE SAN BUENAVENTURA

Diagnosis of soil fertility in two plots for cultivation of cocoa (*Theobroma cacao*) and coffee (*Coffea arabica*) in the municipality of San Buenaventura

Jose Luis Calle P.¹, Casto Maldonado F.², Romulo Marza M.³

RESUMEN

En el norte del departamento de La Paz, la frontera agrícola fue incrementándose vertiginosamente por el ingreso del cultivo de caña de azúcar, actividades ganaderas, asentamientos en áreas para la extracción ilegal de la madera, entre otras, que van en desmedro de la biodiversidad; el trabajo consistió en diagnosticar la fertilidad de suelos para la implementación de cultivos con cacao y café, en dos comunidades (San Silvestre y Esmeralda), tomando como base los datos obtenidos por Miranda et al. (2021) sobre análisis físico-químico de suelos. El procedimiento fue: a) sistematización de información secundaria y primaria, b) análisis de ingresos y salidas de nutrientes del suelo y c) dosificación de nutrientes en base al balance de los mismos para el cultivo de cacao y café. De acuerdo al análisis realizado, En la comunidad Esmeralda para tener adecuados rendimientos en cacao se debe adicionar 738.5 kg N ha⁻¹ y 76.07 kg P₂O₅ ha⁻¹ y en café 212.5 kg N ha⁻¹, los mismos por su bajo porcentaje de saturación de acidez no requieren encalado. En la comunidad San Silvestre, se requiere adición de 788.09 kg N ha⁻¹, 229.03 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 403.86 kg K₂O para el cultivo de cacao y para el cultivo de café 262.09 kg N ha⁻¹ 21.20 kg P₂O₅. Por otro lado, los suelos presentan un alto porcentaje de saturación de acidez recomendado con 46.73 %, mayor al porcentaje de saturación de cultivo de cacao (20 %) y café (25 %) sugiriendo la adición de 4.327 kg de cal agrícola para el cultivo de cacao por planta y 0.439 kg para el cultivo de café, sugiriendo los mismos ser aplicados en dos etapas.

Palabras clave: diagnóstico, fertilidad, suelo, *Theobroma cacao*, *Coffea arabica*, encalado.

ABSTRACT

In the north of the department of La Paz, the agricultural frontier was increasing vertiginously due to the entry of sugarcane cultivation, livestock activities, settlements in areas for illegal extraction of wood, among others, which are detrimental to biodiversity; The work consisted of diagnosing soil fertility for the implementation of cocoa and coffee crops, in two communities (San Silvestre and Esmeralda), based on the data obtained by Miranda et al. (2020) on physical-chemical analysis of soils. The procedure was: a) Systematization of secondary and primary information, b) Analysis of inputs and outputs of nutrients from the soil and c) dosage of nutrients based on their balance for the cultivation of cocoa and coffee. According to the analysis carried out, in the Esmeralda community, to have adequate cocoa yields, 738.5 kg N ha⁻¹ and 76.07 kg P₂O₅ ha⁻¹ must be added, and 212.5 kg N ha⁻¹ in coffee, the same due to their low percentage of saturation. of acidity do not require liming. In the San Silvestre community, the addition of 788.09 kg N ha⁻¹, 229.03 kg P₂O₅ ha⁻¹ and 403.86 kg K₂O is required for the cultivation of cocoa and for the cultivation of coffee 262.09 kg N ha⁻¹ 21.20 kg P₂O₅. On the other hand, the soils present a high percentage of saturation of recommended acidity with 46.73 %, higher than the percentage of saturation of cocoa (20 %) and coffee (25 %) crops, suggesting the addition of 4.327 kg of agricultural lime for the cultivation of cocoa per plant and 0.439 kg for the cultivation of coffee, suggesting that they be applied in two stages.

Keywords: diagnosis, fertility, soil, *Theobroma cacao*, *Coffea arabica*, liming.

¹ ✉ Coordinador de proyecto, División de Apoyo al Norte Amazónico, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: [0000-0003-4558-601X](https://orcid.org/0000-0003-4558-601X). joseluiscalleperalta@gmail.com

² Docente, Estación Experimental Sapecho, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. casmaf@gmail.com

³ Gestor de proyectos, División de Apoyo al Norte Amazónico, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. romulomarza@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La planificación en base a la evaluación de tierras es el proceso de determinación y predicción del comportamiento de una porción de tierra usada para fines específicos, considerando aspectos físicos, económicos y sociales. Asimismo, se constituye en una herramienta para la toma de decisiones y tener un manejo sostenible del recurso suelo, en base a su capacidad productiva (Calle et al., 2021).

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en Bolivia se encuentra distribuida en distintas regiones, pero principalmente en los departamentos de La Paz y Beni. La región tropical de Alto Beni del Departamento de La Paz se constituye la principal zona productora del país con un 85 % de la producción nacional (Maldonado y Cruz, 2015). El material genético que se cultiva, son clones de cacao mejorado, en menor proporción amazónico y el silvestre en los departamentos de Beni y Pando. En los últimos años también han adquirido importancia nuevas iniciativas en los departamentos de Santa Cruz y Cochabamba (Maldonado y Cruz, 2020).

A pesar de la existencia de condiciones agroecológicas óptimas para el cultivo de cacao en una buena parte de la cuenca amazónica boliviana, el país nunca fue un jugador importante en el mercado mundial de este rubro (Bazoberry y Salazar, 2008).

El estudio de aptitud de uso de suelos para el cultivo de caña de azúcar en Tumupasa, municipio de San Buenaventura (Miranda et al., 2021), concluyen que la mayor parte de suelos estudiados en el distrito de Tumupasa no es apto para el cultivo de caña de azúcar, debido a que ninguno de los 14 puntos muestreados cuenta con todos los requerimientos (oferta) de macronutrientes del suelo (principalmente Al, P, Ca, MO y K) en proporciones adecuadas donde recomiendan la producción de otras especies en sistemas agroforestales sustentables.

En el Plan de Gestión Territorial Indígena del Pueblo Tacana (2015-2025), lineamiento de acción 3, objetivo específico 3, hace referencia a “Reducir y/o evitar la deforestación y la pérdida de los recursos naturales; además, identifican como riesgos el incremento de la deforestación por el chaqueo indiscriminado, la pérdida de recursos forestales debido a la tala ilegal y la contaminación de los suelos y el agua por el desecho de materiales tóxicos o no

degradables” (Consejo Indígena del Pueblo Tacana, 2014).

El distrito de Tumupasa perteneciente al Gobierno Autónomo Municipal de San Buenaventura, agrupa a dos organizaciones: los indígenas originarios Tacanas agrupados en el Consejo Indígena del Pueblo Tacana CIPTA y los interculturales, organizados en la Federación Sindical de Productores Agropecuarios de la Provincia Abel Iturralde FESPAI, por lo mencionado, las comunidades a ser estudiadas están identificadas a un grupo específico, siendo la Comunidad Esmeralda identificada como intercultural y la Comunidad San Silvestre como indígena originaria Tacana, ambas organizaciones con líneas de acción para la producción de cultivos en sistemas agroforestales, sin embargo, muy pocas instituciones y organizaciones públicas y privadas realizaron trabajos de investigación e interacción social para la transferencia de tecnología que genere un impacto en el incremento del rendimiento de cultivos que genere mayores ingresos a los productores indígenas e interculturales respetando la biodiversidad, medio ambiente y la vocación productiva forestal y agroforestal de la región.

De acuerdo con la investigación desarrollada por Riaño et al. (2014) en la zona cafetera central de Colombia, los cafetales con densidades cercanas a las 4 000 plantas ha⁻¹, extraen las siguientes cantidades de nutrientes hasta los 2 000 días después de la siembra: 560 kg ha⁻¹ de N, 52 kg ha⁻¹ de P, 520 kg ha⁻¹ de K, 240 kg ha⁻¹ de Ca y entre 60 y 120 kg ha⁻¹ de Mg. Además, en este mismo estudio se demostró que para una misma densidad de siembra, la extracción total de nutrientes puede ser similar en lugares con diferente potencial productivo; en este caso, lo que cambia es la partición de los asimilados en los diferentes órganos de la planta, es decir, la relación fuente–vertedero. Este comportamiento tiene su origen en las condiciones medioambientales en cada localidad (Sadeghian, 2008).

En el caso del cacao, durante la etapa de plena producción, los árboles en una hectárea, acumularon en sus tejidos alrededor de: 438 kg de N, 48 kg de P, 633 kg de K, 373 kg de Ca, 129 kg de Mg, 6.1 kg de Mn, 1.1 kg de Zn; entre otros nutrientes. El mismo estudio reveló que al comercializar una tonelada de cacao seco, salen de la huerta alrededor de 40 kg de N, 6 kg de P y 86 kg de K (Leiva Rojas, s.f.).

El objetivo del trabajo fue diagnosticar la fertilidad de suelos para la implementación de cultivos con cacao y café, en dos comunidades (San Silvestre y Esmeralda), tomando como base los datos obtenidos por Miranda et.al. (2021) sobre análisis físico-químico de suelos

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El área de trabajo se encuentra ubicada geográficamente en las comunidades de San Silvestre 622975 LO y 8442867 LS y Esmeralda 636858 LO y 8422368 LS a una altitud de 248 y 368 metros sobre el nivel del mar, respectivamente del municipio de San Buenaventura, segunda sección de la provincia Abel Iturralde al norte del departamento de La Paz, del Estado Plurinacional de Bolivia.

Metodología

Para el presente estudio se siguieron los siguientes pasos: a) revisión de datos sobre análisis de suelos de Tumupasa, b) sistematización de datos de requerimientos nutricionales de cacao y café, c) análisis de aportes y demanda de nutrientes al suelo, d) análisis de acidez y encalado del suelo, e) sugerencia de fertilización para el cultivo de cacao y café.

Análisis de suelos

En base al estudio realizado por Miranda et al. (2020), se cuenta con datos sobre los análisis físico – químico de suelos del Distrito de Tumupasa, los cuales se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Localización de las calicatas descritas en el municipio de Tumupasa.

| Punto | Ho | Profundidad (m) | MO (%) | Nt (%) | P (ppm) | Meq 100 g ⁻¹ de suelo | | | | | CIC | Acidez Intercambiable (%) |
|---------------|----|-----------------|--------|--------|---------|----------------------------------|-------|------|------|-------|-------|---------------------------|
| | | | | | | K | Ca | Mg | Na | Al+H | | |
| Comunidad | Ao | 0 a 0.07 | 9.88 | 0.44 | 14.87 | 0.65 | 12.21 | 4.35 | 0.24 | 0.27 | 17.73 | 1.5 |
| Esmeralda | C1 | 0.07 a 0.26 | 0.51 | 0.08 | 1.23 | 0.65 | 1.51 | 1.87 | 0.14 | 5.00 | 9.18 | 54.5 |
| Comunidad | A1 | 0 a 0.04 | 5.85 | 0.48 | 2.86 | 0.06 | 9.78 | 5.37 | 0.13 | 0.20 | 15.54 | 1.3 |
| San Silvestre | A2 | 0.04 a 0.35 | 0.73 | 0.12 | 2.77 | 0.28 | 0.32 | 2.23 | 0.16 | 15.88 | 18.86 | 84.2 |

Los mismos autores indican que los suelos de la comunidad Esmeralda presentan textura de franco limoso, textura que se encuentra dentro del rango adecuado para los cultivos de cacao y café. En la Tabla 2 se describe que la profundidad para el análisis y diagnóstico se lo realizo hasta el segundo horizonte con 0.26 m de profundidad, el mismo corresponde a la profundidad efectiva donde se encuentra la mayor cantidad de raíces de cacao y

café (80 % área radicular en 0.20 m de profundidad). En el caso de la comunidad San Silvestre, los suelos presentan una textura de franco a franco arcillo limoso, textura que se encuentra dentro del rango adecuado para los cultivos de cacao y café. La profundidad para el análisis y diagnóstico se realizó hasta el segundo horizonte A2 con 0.35 m de profundidad, el mismo corresponde a la profundidad efectiva donde se encuentra la mayor cantidad de raíces.

Tabla 2. Requerimiento nutricional adecuado para los cultivos de cacao y café.

| | Parámetro | Cacao adecuado | Café adecuado |
|----------------------|---|----------------|---------------|
| Propiedades químicas | Ph | 6.4 - 5.11 | 5.5 - 6.5 |
| | Materia Orgánica | 6.0 - 3.1 | - |
| | Nitrógeno total (%) | 0.40 - 0.21 | 2.5 - 3.5 |
| | Fósforo P (ppm) | 15.0 - 6.0 | 10 - 30 |
| | Potasio intercambiable (meq 100 g ⁻¹ S) | 0.40 - 0.16 | 0.2 |
| | Calcio intercambiable (meq 100 g ⁻¹ S) | 18.1 - 4.1 | 4 - 20 |
| | Magnesio intercambiable (meq 100 g ⁻¹ S) | 4.4 - 0.9 | 1 - 10 |
| | Al intercambiable (meq 100 g ⁻¹ S) | 0.31 - 1.5 | 0.3 |
| | Saturación de aluminio (%) | 11 - 25 | 25 |
| | C.I.C. (meq 100 g ⁻¹ S) | 30.0 - 12.1 | - |

| | | | |
|---------------------|---------------|--|---------------------|
| Propiedades físicas | Textura | Franco, franco arcilloso, franco arenoso 30 - 40 % arcilla, 50 % de arena y 10 - 20 % de limo | Francos - |
| | Porosidad | 10 - 66 % | - |
| | Profundidad | ≥ 0.60 m | - |
| | Drenaje | Esencial y deseable | |
| Clima | Temperatura | 24 - 26 °C | 17 - 23 °C |
| | Humedad | 65 - 85 % | 85 % |
| | Precipitación | > 1 600 mm | 1 600 - 1 800 mm |
| | Luminosidad | Ligeramente > 50 % | |
| | Altitud | 0 - 750 m s.n.m. | 500 - 1700 m s.n.m. |

Fuente: Cacao: extraído de Arvelo et al. (2017) en Calle et al. (2021); Café: adaptado de Monge (1999); Instituto del café, Costa Rica (2011) y Colque (2021).

Cálculo de enmiendas

Método Cochrane, Salinas y Sánchez (1980): según Espinoza y Molina (1999), indican que esta fórmula es la más sencilla, pues toma en cuenta la neutralización de parte del porcentaje de saturación de acidez en relación con la CICE del suelo, que a su vez se multiplica por una constante, con la que se cubren los factores que limitan la eficiencia de la reacción química de la cal en el suelo, a saber, calidad del material encalante, reacciones paralelas en el suelo y el Al no intercambiable proveniente de la materia orgánica. La fórmula final se presenta a continuación (Ecuación 1):

$$CaCO_3 (t\ ha^{-1}) = \frac{1.8 (Al - PRS)(CICE)}{100} \quad (1)$$

Donde: Al = Al intercambiable existente en el suelo; PRS = porcentaje de saturación de acidez deseado; CICE = capacidad de intercambio catiónico efectiva.

Para el presente trabajo se utilizará la acidez intercambiable al no contar con el dato del aluminio intercambiable de acuerdo a lo reportado por Miranda et al. (2021) y lo sugerido por Colque (2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de resultados de propiedades químicas en suelos

En la Tabla 3, se presentan los resultados del análisis de suelo para los cultivos de cacao y café en la comunidad de Silvestre y su interpretación de cada parámetro.

Tabla 3. Análisis de suelo para cacao y café en la comunidad San Silvestre.

| Parámetro | Unidad | Cacao | | Café | |
|-------------------------|--------------------------|-------|----------------|-------|----------------|
| | | Valor | Interpretación | Valor | Interpretación |
| pH | | 5.90 | Medio | 5.90 | Adecuado |
| Conductividad eléctrica | umho cm ⁻¹ | 60 | No salino | 60 | No salino |
| Fósforo disponible (P) | ppm | 5.63 | Medio | 5.63 | Bajo |
| Nitrógeno total | % | 0.30 | Medio | 0.30 | Bajo |
| Materia orgánica | % | 3.29 | Medio | 3.29 | |
| Calcio intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 10.10 | Medio | 10.10 | Adecuado |
| Magnesio intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 7.60 | Alto | 7.60 | Adecuado |
| Potasio intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 0.34 | Medio | 0.34 | Alto |
| Sodio intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 0.29 | Moderado | 0.29 | Moderado |
| Acidez intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 16.08 | Muy alto | 16.08 | Muy alto |
| Arena | % | 13 | | 13 | |
| Limo | % | 50 | | 50 | |
| Arcilla | % | 37 | | 37 | |
| Clase textural | | | Adecuado | | Adecuado |

De acuerdo a los resultados de la Tabla 3, en la comunidad de San Silvestre para el cultivo de cacao se puede resaltar que existe un alto contenido de magnesio intercambiable, importante para la fotosíntesis ya que es uno de los componentes de la clorofila (Snoeck et al., 2016), se evidencia niveles muy altos de la acidez intercambiable con

16.08 meq 100g⁻¹ S, el cual será analizado en el punto "Encalamiento" del presente estudio. Así mismo, para el cultivo de café, se puede resaltar que existe un alto contenido de calcio y potasio intercambiable, siendo este último el nutriente que más demanda el cultivo; sin embargo, se evidencia niveles muy altos de la acidez intercambiable con 16.08 % de saturación y

bajo contenido de nitrógeno total con 0.3 % y fósforo disponible con 5.63 ppm, la deficiencia de este nutriente (P) reduce el desarrollo de raíces en cacao (Malavolta, 1997 citado por Snoeck, 2016).

En la Tabla 4, se presentan los resultados del análisis de suelo para los cultivos de cacao y café en la Comunidad de Silvestre y su interpretación de cada parámetro.

Tabla 4. Análisis de suelo para cacao y café en la comunidad Esmeralda.

| Parámetro | Unidad | Cacao | | Café | |
|-------------------------|--------------------------|--------|------------------|--------|------------------|
| | | Valor | Interpretación | Valor | Interpretación |
| pH | | 6.10 | Suavemente ácido | 6.10 | Suavemente ácido |
| Conductividad eléctrica | umho cm ⁻¹ | 75 | No salino | 75 | No salino |
| Fósforo disponible (P) | ppm | 16.093 | Alto | 16.093 | Adecuado |
| Nitrógeno total | % | 0.26 | Adecuado | 0.26 | Bajo |
| Materia orgánica | % | 5.195 | Alto | 5.195 | - |
| Calcio intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 13.72 | Adecuado | 13.72 | Alto |
| Magnesio intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 6.22 | Alto | 6.22 | Adecuado |
| Potasio intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 1.30 | Alto | 1.30 | Alto |
| Sodio intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 0.38 | Moderado | 0.38 | Moderado |
| Acidez intercambiable | meq 100g ⁻¹ S | 5.27 | Muy alto | 5.27 | Muy alto |
| Arena | % | 19 | | 19 | |
| Limo | % | 55 | | 55 | |
| Arcilla | % | 26 | | 26 | |
| Clase textural | | | Adecuado | | Adecuado |

Los datos que se muestran en la Tabla 4, indican para el cultivo de cacao en la comunidad Esmeralda, que existe un alto contenido de fósforo materia orgánica magnesio intercambiable y potasio intercambiable; sin embargo, se evidencia niveles muy altos de la acidez intercambiable con 5.27 meq 100g⁻¹ S de saturación, el cual será analizado en el punto “Encalamiento” del presente estudio. Para el caso del cultivo de café, se puede resaltar que existe

un alto contenido de calcio (13.72 meq 100g⁻¹ S) y potasio intercambiable (1.3meq100g⁻¹ S); sin embargo, se evidencia un bajo contenido de nitrógeno total (0.26 %) el cual será analizado en el punto “dosificación de nutrientes” del presente estudio. En la Tabla 5, se presentan los resultados del cálculo de la dosificación de nutrientes para el cultivo de cacao en la comunidad de San Silvestre y su interpretación de cada parámetro.

Tabla 5. Cálculo de dosificación de nutrientes para el cultivo de cacao en comunidad San Silvestre.

| Nutriente | kg aporte por MO | kg en el suelo | Demanda cultivo (Absorción) (kg 10t ⁻¹) | Eficiencia de recuperación (%) | Requerimiento nutriente (kg ha ⁻¹) | Forma comercial | Factor de conversión a forma comercial | Nutriente forma comercial (kg ha ⁻¹) |
|-----------|------------------|----------------|---|--------------------------------|--|-------------------------------|--|--|
| Nitrógeno | 68.89 | 112.85 | 438.00 | 50.00 | 788.09 | N | 1.00 | 788 |
| Fosforo | 6.30 | 19.31 | 48.00 | 35.00 | 99.97 | P ₂ O ₅ | 2.29 | 229 |
| Potasio | 24.10 | 456.01 | 633.00 | 60.00 | 335.15 | K ₂ O | 1.21 | 403 |
| Calcio | 88.10 | 6 942.46 | 373.00 | 70.00 | -9 259.08 | CaO | 1.40 | -12 953 |
| Magnesio | 29.10 | 3 167.26 | 129.00 | 70.00 | -4 298.80 | MgO | 1.66 | -7 127 |

En base a los cálculos realizados, se identifican que los nutrientes que requieren una fertilización para el cultivo de cacao en la comunidad de San Silvestre es el nitrógeno, fósforo y potasio, con 788.09 kg N ha⁻¹, 229.03 kg P ha⁻¹ y 403.86 kg K ha⁻¹ respectivamente. Además, se presenta el valor calculado para las formas comerciales de fertilizantes que requerirán con

788.09 kg N ha⁻¹, 229.03 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y 403.86 kg K₂O ha⁻¹.

En la Tabla 6, se presentan los resultados del cálculo de la dosificación de nutrientes para el cultivo de café en la comunidad de San Silvestre y su interpretación de cada parámetro.

Tabla 6. Cálculo de dosificación de nutrientes para el cultivo de café en comunidad San Silvestre.

| Nutriente | kg aporte por MO | kg en el suelo | Demanda cultivo (Absorción) (kg 10t ⁻¹) | Eficiencia de recuperación (%) | Requerimiento nutriente (kg ha ⁻¹) | Forma comercial | Factor de conversión a forma comercial | Nutriente forma comercial (kg ha ⁻¹) |
|-----------|------------------|----------------|---|--------------------------------|--|-------------------------------|--|--|
| Nitrógeno | 68.89 | 112.85 | 175.00 | 50.00 | 262.09 | N | 1.00 | 262.09 |
| Fosforo | 6.30 | 19.31 | 16.25 | 35.00 | 9.25 | P ₂ O ₅ | 2.29 | 21.20 |
| Potasio | 24.10 | 456.01 | 162.50 | 60.00 | -449.01 | K ₂ O | 1.21 | -541.06 |
| Calcio | 88.10 | 6 942.46 | 75.00 | 70.00 | -9 684.80 | CaO | 1.40 | -13 549.03 |
| Magnesio | 29.10 | 3 167.26 | 37.50 | 70.00 | -4 429.52 | MgO | 1.66 | -7 344.14 |

De acuerdo a los cálculos realizados, se identifican que los nutrientes que requieren una fertilización para el cultivo de café en la comunidad de San Silvestre es el nitrógeno, con 262.09 kg N ha⁻¹ y 9.25 kg P ha⁻¹. Además, se presenta el valor calculado para las formas comerciales de fertilizantes donde se requerirán 262.09 kg N ha⁻¹ y 21.2 kg de P₂O₅ ha⁻¹. En base a la Tabla 6, no se requiere la adición de

fertilizantes de fosforo, potasio, calcio y magnesio (datos negativos).

En la Tabla 7, se presentan los resultados del cálculo de la dosificación de nutrientes para el cultivo de cacao en la comunidad Esmeralda y su interpretación de cada parámetro.

Tabla 7. Cálculo de dosificación de nutrientes para el cultivo de cacao en comunidad Esmeralda.

| Nutriente | kg aporte por MO | kg en el suelo | Demanda cultivo (Absorción) (kg 10t ⁻¹) | Eficiencia de recuperación (%) | Requerimiento nutriente (kg ha ⁻¹) | Forma comercial | Factor de conversión a forma comercial | Nutriente forma comercial (kg ha ⁻¹) |
|-----------|------------------|----------------|---|--------------------------------|--|-------------------------------|--|--|
| Nitrógeno | 68.89 | 137.64 | 438.00 | 50.00 | 738.50 | N | 1.00 | 738 |
| Fosforo | 6.30 | 42.68 | 48.00 | 35.00 | 33.20 | P ₂ O ₅ | 2.29 | 76 |
| Potasio | 24.10 | 1 348.08 | 633.00 | 60.00 | -1 151.63 | K ₂ O | 1.21 | -1 387 |
| Calcio | 88.10 | 7 291.64 | 373.00 | 70.00 | -9 757.92 | CaO | 1.40 | -13.651 |
| Magnesio | 29.10 | 2 004.20 | 129.00 | 70.00 | -2 637.28 | MgO | 1.66 | -4.372 |

En base a los cálculos realizados, se identifican que los nutrientes que requieren una fertilización para el cultivo de cacao en la comunidad de Esmeralda es el nitrógeno y el fósforo, con 738.5 kg N ha⁻¹ y 33.2 kg P ha⁻¹ respectivamente. Además, se presenta el cálculo para las formas comerciales de fertilizantes que requerirán con 738 kg N ha⁻¹ y 76.kg de P₂O₅. En base a la Tabla 7, no se requiere la adición de

fertilizantes de potasio, calcio y magnesio (datos negativos).

En la Tabla 8, se presentan los resultados del cálculo de la dosificación de nutrientes para el cultivo de cacao en la comunidad de San Silvestre y su interpretación de cada parámetro.

Tabla 8. Cálculo de dosificación de nutrientes para el cultivo de café en comunidad Esmeralda.

| Nutriente | kg aporte por MO | kg en el suelo | Demanda cultivo (Absorción) (kg 10t ⁻¹) | Eficiencia de recuperación (%) | Requerimiento nutriente (kg ha ⁻¹) | Forma comercial | Factor de conversión a forma comercial | Nutriente forma comercial (kg ha ⁻¹) |
|-----------|------------------|----------------|---|--------------------------------|--|-------------------------------|--|--|
| Nitrógeno | 68.89 | 137.64 | 175.00 | 50.00 | 212.50 | N | 1.00 | 212.50 |
| Fosforo | 6.30 | 42.68 | 16.25 | 35.00 | -57.51 | P ₂ O ₅ | 2.29 | -131.76 |
| Potasio | 24.10 | 1 348.08 | 162.50 | 60.00 | -1 935.80 | K ₂ O | 1.21 | -2 332.64 |
| Calcio | 88.10 | 7 291.64 | 75.00 | 70.00 | -10 183.63 | CaO | 1.40 | -14 246.90 |
| Magnesio | 29.10 | 2 004.20 | 37.50 | 70.00 | -2 767.99 | MgO | 1.66 | -4 589.33 |

De acuerdo a los cálculos realizados, se identifican que el nutriente que requiere una fertilización para el cultivo de café en la comunidad de Esmeralda es el nitrógeno, con 212.5 kg N ha⁻¹. En base a la Tabla 8, no se requiere la adición de fertilizantes de fosforo, potasio, calcio y magnesio (datos negativos).

Diagnóstico de acidez del suelo

En la Tabla 9, se presentan los resultados del diagnóstico de acidez del suelo para el cultivo de cacao en la comunidad de San Silvestre y Esmeralda y su interpretación de cada parámetro.

Tabla 9. Diagnóstico acidez del suelo para cacao y café en comunidad San Silvestre y Esmeralda.

| Comunidad San Silvestre | | Valor de laboratorio | Cacao | | Café | |
|----------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| Parámetro | Unidad | | Condición de acidez | Interpretación | Condición de acidez | Interpretación |
| pH | - | 5.90 | < 5.5 | Suavemente ácido | < 5.5 | Suavemente ácido |
| Suma de bases (Ca+Mg+K+Na) | cmol kg ⁻¹ | 18.04 | < 5 | Moderado | < 5 | Moderado |
| Acidez intercambiable | meq 100g ⁻¹ | 16.08 | > 0.5 | Muy alto (sale de rango) | > 0.5 | Muy alto (sale de rango) |
| Saturación de acidez | % | 46.73 | > 20 | Muy alto (sale de rango) | > 25 | Muy alto (sale de rango) |
| CICE | meq 100g ⁻¹ | 34.41 | | | | |
| Comunidad Esmeralda | | | | | | |
| pH | - | 6.10 | < 5.5 | Suavemente ácido | < 5.5 | Suavemente ácido |
| Suma de bases (Ca+Mg+K+Na) | cmol kg ⁻¹ | 21.24 | < 5 | Moderado | < 5 | Moderado |
| Acidez intercambiable | meq 100g ⁻¹ | 5.27 | > 0.5 | Muy alto (sale de rango) | > 0.5 | Muy alto (sale de rango) |
| Saturación de acidez | % | 19.60 | > 20 | Moderado | > 25 | Moderado |
| CICE | meq 100g ⁻¹ | 26.89 | | | | |

La toma de decisión de la acidez de suelo en la comunidad San Silvestre, se realiza en base a la Tabla 9, donde la acidez intercambiable es de 16.08 meq 100g⁻¹ suelo, valor que es mayor a 0.5 meq 100g⁻¹ suelo, que indica una condición de acidez muy alto, se confirma con el resultado de saturación de acidez ya que el valor obtenido 46.73 % es mayor a 20% que es la saturación de aluminio que soporta el cultivo de cacao y 25 % de la saturación que soporta el cultivo de café, en base a lo sugerido por Colque (2021).

La Tabla 9, también nos indica que la acidez intercambiable es de 5.27 meq 100g⁻¹ suelo, valor que es mayor a 0.5 meq 100g⁻¹ suelo, que indica una

condición de acidez muy alto, se contrasta con el resultado de porcentaje de saturación de acidez ya que el valor obtenido 19.60 % es menor a 20 % del cultivo de cacao y 25 % que es la saturación de aluminio que soporta el cultivo de café de acuerdo a lo expuesto por Colque (2021) en la comunidad Esmeralda.

En la Tabla 10, se presentan los cálculos de las enmiendas realizadas, en base al porcentaje de saturación de acidez, porcentaje de saturación recomendado por cultivo (PRS) y capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) para el cultivo de cacao y café en la comunidad de San Silvestre y Esmeralda.

Tabla 10. Cálculo de enmiendas.

| Comunidad | Cultivo | Saturación de acidez (%) | PRS | CICE | t CaCO ₃ ha ⁻¹ | Densidad (plantas ha ⁻¹) | Radio (m planta ⁻¹) | Área planta (m ²) | Área efectiva (m ²) | t CaCO ₃ A. efectiva |
|---------------|---------|--------------------------|-----|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Esmeralda | Cacao | 19.60 | 20 | 26.89 | -0.19 | 625 | 0.8 | 2.01 | 1 256.64 | -0.024 |
| | Café | 19.60 | 25 | 26.89 | -2.61 | 1250 | 0.4 | 0.50 | 628.32 | -0.164 |
| San Silvestre | Cacao | 46.73 | 20 | 34.41 | 16.56 | 625 | 0.8 | 2.01 | 1 256.64 | 2.081 |
| | Café | 46.73 | 25 | 34.41 | 13.46 | 1250 | 0.4 | 0.50 | 628.32 | 0.846 |

De acuerdo con la Tabla 10, se puede identificar que los suelos de la comunidad Esmeralda no requieren la aplicación de enmiendas para los cultivos de cacao y café ya que presenta valores negativos en base a los calculo en la fórmula de Cochrane -0.19 t CaCO₃ ha⁻¹ para cacao y -2.61 t CaCO₃ ha⁻¹ para café. En la comunidad San Silvestre se puede evidenciar otro panorama, donde se evidencia una alta acidez en el análisis de suelo reportado por Miranda et al. (2021),

donde de acuerdo a lo calculado por la fórmula de Cochrane et al. (1980) citado por Espinosa y Molina (1999), se requiere 16.56 t CaCO₃ ha⁻¹ para cacao y 13.46 t CaCO₃ ha⁻¹ para café.

En la Tabla 11, se presentan el cálculo de cal agrícola y sus aplicaciones para el cultivo de cacao y café en la comunidad de San Silvestre y Esmeralda.

Tabla 11. Cálculo de cal agrícola.

| Comunidad | Cultivo | t CaCO ₃ A. efectiva | kg CaCO ₃ planta ⁻¹ | kg cal agrícola planta ⁻¹ | 1ra aplicación kg planta ⁻¹ | 2da aplicación kg planta ⁻¹ | Total t enmienda ha ⁻¹ Parcela agroforestal |
|---------------|---------|---------------------------------|---|--------------------------------------|--|--|--|
| Esmeralda | Cacao | -0.024 | -0.039 | -0.051 | -0.025 | -0.025 | No requiere |
| | Café | -0.164 | -0.131 | -0.171 | -0.085 | -0.085 | No requiere |
| San Silvestre | Cacao | 2.081 | 3.330 | 4.327 | 2.163 | 2.163 | 2.3 |
| | Café | 0.846 | 0.675 | 0.879 | 0.439 | 0.439 | |

En base a la Tabla 11, se reporta un cálculo por área efectiva en el caso de café tomando en cuenta un radio de 0.4 m y de cacao de 0.8 m, por las características fenológicas de los cultivos, teniendo 3.33 kg de CaCO₃ por planta de cacao y 0.675 kg de CaCO₃ por planta de café en la comunidad San Silvestre. En el caso de la comunidad Esmeralda, de acuerdo a los datos obtenidos no requiere el encalado en los cultivos.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del presente estudio se puede diagnosticar que los suelos de la comunidad Esmeralda presentan condiciones adecuadas para la producción de parcelas de cacao y café; sin embargo, se puede notar que existe nutrientes deficientes en el suelo como el N, P y en algunos casos de potasio en el cultivo de cacao. Además, se utilizó el suministro de nutrientes que otorga el suelo y la adición de nutrientes por la materia orgánica que deja el cultivo de cacao y café. En el diagnóstico de la acidez del suelo la comunidad Esmeralda no requiere encalamiento; mientras que en la comunidad San Silvestre por el elevado nivel de saturación de aluminio si se requerirá con 2.3 t de CaCO₃ por hectárea.

En base al cálculo de nutrientes para el cultivo de cacao en la comunidad Esmeralda, se puede concluir que los nutrientes deficientes son el nitrógeno y fósforo donde requiere 738.5 kg N ha⁻¹ y 33.2 kg P ha⁻¹ (738.5 kg N y 76.07 kg P₂O₅ en su forma comercial). De acuerdo al diagnóstico de acidez del suelo se evidencia que los suelos se encuentran en el rango permisible al presentar 19.5 % de saturación de acidez valor por debajo del porcentaje de saturación del cultivo de cacao (20 %).

Se concluye que para de cultivo de café en la comunidad Esmeralda el nitrógeno es el nutriente que requiere una fertilización con 212.5 kg N ha⁻¹, estando los demás nutrientes en cantidades adecuadas. Además, son se requiere la adición de enmiendas al presentar un porcentaje de saturación de acidez

menor a la saturación de acidez recomendado para el cultivo de café (19.6 % < 25 %).

El análisis de la fertilidad de nutrientes de suelo para el cultivo de cacao en la comunidad San Silvestre, se identificó que los nutrientes deficientes son el nitrógeno, fósforo y potasio donde para una adecuada producción se requiere 788.09 kg N ha⁻¹, 99.97 kg P ha⁻¹ y 335.15 kg K ha⁻¹ (788.09 kg N, 229.03 kg P₂O₅ y 403.86 kg K₂O en su forma comercial). De acuerdo al diagnóstico de acidez del suelo se evidencia que los suelos salen del rango permisible al presentar 46.73 % de saturación de acidez valor muy por encima del porcentaje de saturación recomendado para el cultivo de cacao (20 %), por lo tanto, se requerirá el encalado.

El análisis de la fertilidad de nutrientes de suelo para el cultivo de café en la comunidad San Silvestre, se identificó que los nutrientes deficientes son el nitrógeno y fósforo donde para una adecuada producción se requiere 262.09 kg N ha⁻¹ y 9.25 kg P ha⁻¹ (262.09 kg N y 21.20 kg P₂O₅ en su forma comercial). De acuerdo al diagnóstico de acidez del suelo se evidencia que los suelos salen del rango permisible al presentar 46.73 % de saturación de acidez valor muy por encima del porcentaje de saturación recomendado para el cultivo de café (25 %), por lo tanto, se requerirá el encalado.

Para la comunidad San Silvestre se requerirá el encalado con 4.327 kg de cal agrícola por planta para el área efectiva de 0.8 m en el cultivo de cacao y de 0.879 kg de cal agrícola por planta para el área efectiva de 0.4 m en el cultivo de café.

BIBLIOGRAFÍA

Bazoberry, O; Salazar, C. 2008. El cacao en Bolivia. Una alternativa económica de base campesina indígena. Centro de investigación y apoyo del campesinado CIPCA (en línea). p. 71-72. Consultado 17 abr. 2023. Disponible en <https://www.cipca.org.bo/publicaciones-e-investigaciones/cuadernos-de-investigacion/el-cacao-en-bolivia-una-alternativa-economica-de-base-campesina-indigena>

- Calle, J; Mendoza, M; Miranda, R. 2021. Aptitud de uso de suelos para el cultivo de cacao (T. cacao) en Tumupasa, Municipio de San Buenaventura. Revista RIIARn. p. 45-58. Consultado 05 ene. 2023. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182021000300045&lng=es&nrm=iso
- Colque, O. 2021. Modulo IV: Manejo de enmiendas y nutrientes del suelo (diapositiva). Acidez del suelo y encalado. La Paz, Bolivia. Memoria. 13 diapositivas, color (Diplomado en Fertilidad de suelos y Nutrición de cultivos. Facultad de Agronomía, UMSA).
- Consejo Indígena del Pueblo Tacana. 2014. Plan de gestión territorial indígena del pueblo tacana 2015-2025 (en línea). La Paz, Bolivia. Consultado 02 ene. 2022. Disponible en <https://global.wcs.org/Resources/Publications/Publications-Search-11/ctl/view/mid/13340/pubid/DMX3348400000.aspx>
- Cochrane, T; Salinas, J; Sánchez, P. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate crops aluminium tolerance. Tropical Agriculture 57(2):133-140.
- Espinosa, J; Molina, E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Quito, Ecuador: International plant nutrition institute (en línea). Quito, Ecuador. Consultado 11 ago. 2022. Disponible en https://www.academia.edu/31382814/Acidez_y_encalado_de_suelos_libro_por_J_Espinosa_y_E_Molina
- Instituto del café de Costa Rica. 2011. Guía técnica para el cultivo de café (en línea). Costa Rica. Consultado 05 sep. 2022. Disponible en <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiM55GI3Mj9AhU7O7kGHVVpDy4QFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.icafe.cr%2Fwp-content%2Fuploads%2Fcafe%2Fdocumentos%2FGUIA-TECNICA-V10.pdf&usq=AOvVaw0du25oZ9NxUe7XetgeZGEu>
- Leiva Rojas, El. (s.f.). Aspectos para la nutrición del cacao *Theobroma cacao* L (en línea). Consultado 02 sep. 2022. Disponible en https://www.academia.edu/37728811/ASPECTOS_PARA_LA_NUTRICION_DEL_CACAO_Theobroma_cacao_L
- Maldonado, C; Cruz, D. 2015. Manual de prevención, manejo y control de la moniliasis del cacao. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 45 p.
- Maldonado, C.; Cruz, D. 2020. Enfermedades fitopatológicas de importancia económica del cultivo de cacao en Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 12 p.
- Miranda, R; Marza, R; Calle, J.; Mendoza, M; Choque, C; Aparicio, J; Cruz, D. 2021. Aptitud de uso de suelos para el cultivo de caña de azúcar (*S. officinarum*) en Tumupasa, Municipio de San Buenaventura. Revista RIIARn (en línea). La Paz, Bolivia. Consultado 05 feb. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.53287/nifr9985kb87s>
- Monge, L. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización del cultivo de café orgánico en Costa Rica (en línea). San Jose, Costa Rica. Consultado 21 ago. 2022. Disponible en: http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2015/12/a50-6907-III_175.pdf
- Riño, HNM; Arcila, PJ; Laramillo, RA; Chaves, CB. 2014. Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetalera central. Cenicafé 55(4):265-276.
- Sadeghian, S. 2008. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia (en línea). Caldas, Colombia. Consultado 14 sep. 2022. Disponible en <https://es.slideshare.net/pipe69/snccsiavosh>
- Snoeck, D; Koko, L; Joffre, J; Bastide, P; Jagoret, P. 2016. Cacao nutrición and fertilization (en línea). Springer International Publishing Switzerland. Springer 19. Consultado 31 ene. 2021. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4

Artículo recibido en: 05 de mayo del 2023

Aceptado en: 18 de diciembre del 2023