

## APTITUD DE USO DE SUELOS PARA EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA LOCALIDAD DE TUMUPASA, MUNICIPIO DE SAN BUENAVENTURA - LA PAZ

### Land use suitability for cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivation in Tumupasa, municipality of San Buenaventura - La Paz

Jose Luis Calle P.<sup>1</sup>, Magaly Mendoza A.<sup>2</sup>, Roberto Miranda C.<sup>3</sup>

#### RESUMEN

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 considerando su capacidad productiva. El objetivo del presente trabajo fue determinar la aptitud de uso del suelo, en base a las limitaciones y potencialidades edafo-climáticas para el cultivo de cacao. El área de proyecto fue la región de Tumupasa, en el municipio de San Buenaventura, segunda sección de la provincia Abel Iturralde al norte del departamento de La Paz, tomando como referencia los datos obtenidos por Miranda et.al. (2020) sobre el análisis físico-químico de suelos. El procedimiento para realizar la investigación fue: a) sistematización de información secundaria y primaria, b) elaboración de la metodología y parámetros de evaluación de los suelos en base lo sistematizado, c) diseño e interpretación de resultados en mapas y e) socialización de los resultados a las autoridades del lugar y organizaciones sociales. De acuerdo a los datos obtenidos, la zona presenta áreas moderadamente aptas, aptas y en menor proporción no aptas para el cultivo, evidenciado principalmente en la limitación nutricional que presenta los suelos en el nitrógeno, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. Sin embargo, haciendo un análisis de las características agronómicas del cultivo de cacao, estas limitaciones son oportunidades para el uso de otro tipo de tecnologías para la producción, una de las cuales son los sistemas agroforestales, que aportan de gran manera el nutriente limitante (nitrógeno), con el aporte de biomasa de las especies acompañantes, sin que esto incida en el gasto significativo de presupuesto para los productores.

**Palabras clave:** Cacao (*Theobroma cacao* L.), aptitud, uso de suelos, propiedades físicas y químicas de suelos, Tumupasa, San Buenaventura.

#### ABSTRACT

Planning based on land evaluation is the process of determining and predicting the behavior of a portion of land used for specific purposes, considering physical, economic and social aspects. It is also a tool for decision making and sustainable management of the soil resource considering its productive capacity. The objective of this work was to determine the suitability of land use, based on soil and climatic limitations and potentialities for cocoa cultivation. The project area was the Tumupasa region, in the municipality of San Buenaventura, second section of the Abel Iturralde province in the north of the department of La Paz, taking as a reference the data obtained by Miranda et al. (2020) on the physical-chemical analysis of soils. The procedure to carry out the research was: a) systematization of secondary and primary information, b) elaboration of the methodology and parameters for soil evaluation based on the systematized data, c) design and interpretation of results in maps and e) socialization of the results to local authorities and social organizations. According to the data obtained, the zone has areas that are moderately suitable, suitable and, to a lesser extent, unsuitable for cultivation, as evidenced mainly by the nutritional limitations of the soils in terms of nitrogen, organic matter and cation exchange capacity. However, an analysis of the agronomic characteristics of cocoa cultivation shows that these limitations are opportunities for the use of other types of production technologies, one of which is agroforestry systems, which provide the limiting nutrient (nitrogen), with the contribution of biomass from the accompanying species, without affecting the significant budget expenditure for producers.

**Keywords:** cacao (*Theobroma cacao* L.), aptitude, soil use, cultivation, physical and chemical properties of soils, Tumupasa, San Buenaventura.

<sup>1</sup> ✉ Técnico de proyectos Pilar Seguridad Alimentaria de la División de Desarrollo Integral del Norte Amazónico, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4558-601X>. [joseluiscaleperalta@gmail.com](mailto:joseluiscaleperalta@gmail.com)

<sup>2</sup> Técnica de proyectos de la División de Desarrollo Integral del Norte Amazónico, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. [magalymendozap@gmail.com](mailto:magalymendozap@gmail.com)

<sup>3</sup> Docente y Responsable del Laboratorio de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. [roberto\\_neco@hotmail.com](mailto:roberto_neco@hotmail.com)

## INTRODUCCIÓN

El cacao es nativo de Bolivia, y en el norte amazónico del país existen cuatro especies del género *Theobroma* en estado silvestre: *T. cacao*, *T. obovatum*, *T. speciosum* y *T. subincanum*. Debido a la extensión de esta zona y la limitada exploración botánica, a la fecha existe información incompleta de la distribución de las especies silvestres del género (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2009). Sin embargo, también se introdujo cacao del tipo amazónico y trinitario a la región de Alto Beni y el Chapare conjuntamente los asentamientos humanos que se dio a partir de 1961, como semilla híbrida proveniente de Trinidad y Tobago, Ecuador y Perú, considerándose la existencia del cacao llamado localmente “criollo” o nacional, que aparentemente fue cultivado por los Jesuitas.

El cultivo de cacao en Bolivia se encuentra distribuido en distintas regiones, pero principalmente en los departamentos de La Paz y Beni. La región sub tropical del Alto Beni del departamento de La Paz se constituye en la principal región productora del país con un 85 % de la producción nacional (Maldonado y Cruz, 2015), donde se cultiva clones de cacao mejorado, en menor proporción son producidos cacao amazónico y 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 (Cruz y Maldonado, 2020). Entre los recursos naturales de flora priorizados por su importancia industrial, económica y las imprescindibles funciones ambientales que brinda son: castaña (*Bertholletia excelsa*), asaí (*Euterpe oleracea*), majo (*Oenocarpus bataua*), cacao, y copoazú (*Theobroma grandiflorum*), los cuales no se aprovechan de manera sostenible y se están implementando en nuevos sistemas productivos, al momento en condiciones de bosque sufren el riesgo de sufrir la invasión del fuego por asentamientos humanos mal planificados, a esto se suman los fuertes vientos que lo hace más peligroso (July, 2019). Si bien una buena parte de Bolivia presenta condiciones de altitud y precipitación óptima para el cultivo de cacao, las características de los suelos se convierten en una limitante para su producción, por lo que las áreas de cultivo se ven bastante reducidas, aun así, son importantes y su posibilidad de expansión es muy grande (Bazoberry y Salazar, 2009).

Por la experiencia del Centro de Investigación y Promoción del Campesinado y las otras instituciones, al menos un 30 % de los cultivos introducidos de cacao

no logran la adultez, esto tiene que ver con distintos factores, muchas veces por el tipo de suelos, por condiciones climáticas como las inundaciones, incendios forestales, plagas y enfermedades, además, no es fácil determinar el área cultivada de cacao, en algunos casos, se dispone de información bastante precisa como en Alto Beni (Bazoberry y Salazar, 2009).

Durante los últimos años en la región de San Buenaventura e Ixiamas, la frontera agrícola fue incrementándose vertiginosamente por el ingreso del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) apoyada por Empresa Azucarera San Buenaventura (EASBA), actividades ganaderas, asentamientos en áreas con vocación forestal; por este motivo una parte de la población baraja la posibilidad de emprender con alguna de las actividades mencionadas, por criterios ambientales y del desarrollo sostenible no es la más indicada por la baja sostenibilidad en el tiempo de esos predios al ser otra vocación productiva toda la región de San Buenaventura e Ixiamas, motivo por el cual, se hace necesario dar alternativas productivas a los productores y gente de la región para emprender sistemas amigables con el medio ambiente respetando su vocación productiva y así también su vocación social al pertenecer una gran parte de estas áreas al pueblo indígena Tacana, organizada en el Consejo indígena del Pueblo Tacana.

Según GAMS (2014), los principales tipos de cacao son el híbrido y silvestre, teniendo 194 ha de superficie de producción; concentrado en el distrito de Tumupasa (104 ha) y San Buenaventura (90 ha), donde se inició como cultivo el año 2000 con diferentes experiencias en plantaciones pequeñas; a partir del año 2004, el cultivo se desarrolla en superficies mayores a 0.25 ha, principalmente de cacao híbrido, entre 2006 y 2007, diferentes instituciones ejecutaron proyectos en varias comunidades para dar mayor impulso a la producción de cacao cultivado, sin embargo, y a pesar de que actualmente 19 comunidades cuentan con cultivos, la producción es poco significativa; las comunidades con mayores niveles de producción son Bella Altura y La Esmeralda, actualmente, San Buenaventura aprovecha cacao silvestre y cultivado, pero de manera deficiente y desorganizada, obteniendo un producto de baja calidad, poco competitivo dentro de la industria nacional y sin proyecciones favorables para la comercialización en mercados internacionales, sin embargo, el municipio presenta condiciones favorables para la producción de cultivos de cacao (Malky y Espinoza, 2010). En base a CECAD (s.f.), en el municipio existe cinco organizaciones productivas que se dedican al cacao

cultivado y cuatro comunidades que recolectan el cacao silvestre, sin embargo, la falta de mercados y las dificultades de transporte hacen que las familias no tengan mucho interés en consolidar esta actividad, a pesar de que la zona es apta para este rubro y de la demanda insatisfecha del producto.

El objetivo del estudio fue conocer la aptitud de los suelos para la planificación adecuada de la producción sostenible del cultivo de cacao en el distrito de Tumupasa, municipio de San Buenaventura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la zona de estudio

El área de trabajo, se encuentra ubicada en el municipio de San Buenaventura, segunda sección de la provincia Abel Iturralde al norte del departamento de La Paz. Geográficamente, se encuentra ubicada entre las coordenadas 13° 47' 12.48" y 14° 35' 44.03" de latitud Sur, 67° 27' 25.00" y 68° 04' 54.40" de longitud Oeste. La altura varía entre 171 a 1 251 m s.n.m. El

punto más bajo se encuentra en el río Beni, el punto más alto se encuentra en la serranía de Hurehuapo. Dista a 481 km al norte de la ciudad de La Paz.

### Metodología

#### *Identificación de los tomadores de decisión*

La región de Tumupasa cuenta con dos grupos sociales involucrados en la producción del cultivo de cacao, los Tacanas representados por el Consejo Indígena del Pueblo Tacana CIPTA y los interculturales agrupados en la Federación Sindical de Productores Agropecuarios de la Provincia Abel Iturralde.

#### *Identificación de las unidades espaciales*

Las áreas de muestreo, fueron definidas de acuerdo al estudio realizado por Miranda et al. (2020), conjuntamente los productores. Se eligieron 14 puntos como se muestra en la Tabla 1. En estos puntos se coordinó con líderes locales que facilitaron el acceso y la toma de la muestra respectiva.

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

Perfil	Longitud	Latitud	Altitud (m s.n.m.)	Perfil	Longitud	Latitud	Altitud (m s.n.m.)
TUM-1	636858	8422368	368	TUM-8	617215	8442152	322
TUM-2	636055	8421576	358	TUM-9	641184	8435598	263
TUM-3	630079	8436121	279	TUM-10	638628	8427211	200
TUM-4	624668	8443969	248	TUM-11	630906	8431986	266
TUM-5	626182	8435995	321	TUM-12	633513	8426172	266
TUM-6	622975	8442867	248	TUM-13	608665	8457169	271
TUM-7	622830	8439562	278	TUM-14	614967	8448730	274

Fuente: Miranda et.al. (2020).

#### *Identificación de tipos de utilización de la tierra*

De acuerdo al GMSB (2009), los principales usos identificados en el municipio de San Buenaventura, describe los siguientes usos: 1) uso ganadero extensivo e intensivo, 2) uso agrosilvopastoril, 3) uso forestal (maderable y no maderable), 4) uso restringido, 5) uso urbano, 6) área protegida y 7) aprovechamiento de fauna y flora. Para el presente trabajo, se tomó como base del tipo de utilización de la tierra al cultivo de cacao.

#### *Requerimientos de tipo de uso para el cultivo de cacao*

Según Snoeck et.al. (2016), para proporcionar cantidades adecuadas y equilibradas de nutrientes para apoyar el crecimiento y rendimientos del cacao, los agentes de desarrollo e investigadores deben considerar las necesidades de cacao, el contenido actual disponible del suelo y cómo estos nutrientes del

suelo pueden estar disponibles para el árbol del cacao. Cada suelo tiene diferentes cantidades y equilibrios de nutrientes. Su disponibilidad depende de muchos factores, pero principalmente el origen del material parental y su desarrollo geológico y pedológico. Los mismos autores indican que cada especie vegetal tiene sus propias necesidades nutricionales y formas de absorber los nutrientes del suelo.

#### *Características y las cualidades de la tierra*

Para tener una base adecuada de los requerimientos nutricionales que necesita el cultivo de cacao, se elaboró la Tabla 2, donde en base a información de Arvelo et al. (2017), se realizó una tabla para conocer los rangos (alto, medio y bajo) en base a las propiedades físicas y químicas de los suelos y el clima que requiere el cultivo para un desarrollo adecuado, de esta forma tener un criterio para la decisión e interpretación para la aptitud de uso del suelo.

Tabla 2. Rangos de aptitud de uso de suelos para el cultivo de cacao.

	Parámetro	Alto (apto)	Medio (moderadamente apto)	Bajo (no apto)
Propiedades químicas	Ph (en agua 1:25)	7.5-6.5	6.4-5.1	< 5.0
	Materia orgánica (combustión húmeda)	> 6.1	6.0-3.1	< 3.0
	Nitrógeno total (%) (Kjendahl)	> 0.41	0.40-0.21	0.20
	Fósforo (P) (ppm) (Mehlich)	> 16.0	15.0-6.0	< 5.0
	Potasio intercambiable (meq 100g <sup>-1</sup> ) (Acetato de amonio 1N, pH 7.0)	> 0.41	0.40-0.16	< 0.15
	Calcio intercambiable (meq 100g <sup>-1</sup> ) (Acetato de amonio 1N, pH 7.0)	> 18.1	18.1-4.1	< 4.0
	Magnesio intercambiable (meq 100g <sup>-1</sup> ) (Acetato de Amonio 1N, pH 7.0)	> 4.0	4.4-0.9	< 0.8
	Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) (meq 100g <sup>-1</sup> ) (Acetato de amonio 1N, pH 7.0)	> 30.1	30.0-12.1	< 12.0
Propiedades físicas	Textura	Franco, franco arcilloso, franco arenoso		
	Porosidad	30-40 % arcilla, 50 % de arena y 10-20 % de limo		
	Profundidad	10-66 %		
	Drenaje	≥ 60 cm		
Clima	Temperatura	Esencial y deseable		
	Humedad	24-26°C		
	Precipitación	65-85 %		
	Luminosidad	> 1600 mm		
	Altitud	Ligeramente > 50 % 0-750 m s.n.m.		

Fuente: Elaborado con base en Arvelo et al. (2017).

### Datos tabulares y mapas en el modelo

El muestreo de suelos y resultados del análisis de laboratorio, es en base a lo obtenido por Miranda et al. (2020), analizados en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía (LAFASA). Los parámetros determinados fueron: textura por el método de Bouyucos; conductividad eléctrica (dS m<sup>-1</sup>) y pH por potenciometría; calcio, magnesio, potasio y sodio por espectrofotometría de adsorción atómica; acidez de cambio por volumetría; materia orgánica por combustión húmeda, fósforo por el método de Bray y Kurtz. Asimismo, se evaluó aspectos relevantes al sitio de la muestra como cobertura, topografía, uso de la tierra entre otros, según la metodología de Salvatore et al. (s.f). Con toda esa información, se procedió a elaborar mapas.

Para el área de estudio donde se distribuyen las 14 calicatas se importó el valor de cada variable por cada punto de muestreo en el programa ArcGis 10.5, donde se realizó una interpolación espacial "IDW" (Distancia Inversa Ponderada) y se obtuvo un raster por cada macronutriente analizado; en el raster generado se hizo una clasificación de pixeles de acuerdo a los parámetros conocidos de requerimientos de macronutrientes del suelo para cultivo de cacao. Finalmente, con los 8 rasters resultantes se hizo algebra de mapas para obtener un mapa final de resultados.

La metodología utilizada en la evaluación de la tierra se basó en el "Esquema para la Evaluación de Tierras", (FAO, 1976), el mismo fue contrastado por Salvatore et al. (s.f.), donde indica la aptitud de tierras es definida como la capacidad de un lugar específico para producir un cultivo determinado en base a las condiciones agroclimáticas y de suelos. El análisis requiere: a) definición del tipo de uso de tierras (TUT), b) inventario de recursos de tierras y c) formulación de los criterios de evaluación de aptitud.

### Evaluación y clasificación de la aptitud de la tierra para el cultivo de cacao

De acuerdo a Liebig (1840), si los niveles de severidad de CUTs se definen según un conjunto standard de reducción de rendimiento, y si estos factores de rendimiento no presenten interacciones entre sí, la clase de aptitud obtenida por este método es correcta. Entonces, de acuerdo a Miranda et al. (2020), para identificar la aptitud de uso de la tierra, se confrontan la cualidad de la tierra (CUT) con los requerimientos del tipo de utilización de la tierra (RUT) para cada factor que límite o propicie la utilización de la tierra. A fin de elegir la mejor aptitud física de uso de la tierra se utiliza el método de limitación máxima, para ello, esta aptitud física global de un área de tierra para un tipo de utilización de la tierra (TUT) se toma de la cualidad de la tierra más limitante, en otras palabras, la CUT cuya evaluación resultó peor.

El último paso planteado en la metodología fue la socialización de los resultados con la sociedad del distrito de Tumupasa, validando el trabajo desarrollado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a lo descrito en la metodología, se describirá los resultados obtenidos y analizados mediante la comparación entre lo requerido por el cultivo (demanda) y las características, climáticas,

propiedades físicas y químicas de los suelos analizados (oferta).

### Características climáticas

A continuación, se detalla el registro de datos de temperatura y precipitación tomadas por la estación climática en Tumupasa, de la Universidad Mayor de San Andrés, contrastando la medición con el requerimiento del cultivo de cacao, teniendo así la aptitud o no en base al factor climático.

Tabla 3. Análisis de características climáticas con relación al cultivo de cacao.

Medición	Temperatura media anual (°C)	Humedad (%)	Precipitación anual (mm)	Luminosidad (%)	Altitud (m s.n.m.)
Estación Tumupasa *	24.3	85	2330	-	200-368
Requerimiento de cacao **	24 a 26	65-85	> 1600	Ligeramente > 50	0-750
Observaciones	Apto	Apto	Apto	Depende del manejo de sombra	Apto

\* Extraído de Callizaya et al. (2020) y Miranda et al. (2020); \*\* Extraído de Arvelo et al. (2017).

De acuerdo a la Tabla 3, se evidencia que el distrito de Tumupasa presenta condiciones favorables para el cultivo de cacao en temperatura media, humedad, precipitación y altitud, denotando en una condición general de "Apto para el cultivo de cacao"; en el caso de la luminosidad, depende del manejo que se da al cultivo desde la etapa del almacigado hasta la producción de la mazorca, con técnicas apropiadas en vivero (caso del plantín de cacao) y de especies acompañantes (plantas establecidas en campo). Entonces, en base a descrito, la condición de aptitud dependerá de las propiedades químicas de los suelos.

### Propiedades físicas de suelos

De acuerdo a la Tabla 4, en las 14 calicatas se puede indicar que los suelos presentan clases texturales francas que son aptas para el cultivo de cacao (Arvelo et al. 2017), presenta variaciones que van desde franco, franco arcilloso, franco arenoso, franco limoso, franco arcilloso arenoso y franco arcillo limoso. Las condiciones de porosidad, profundidad y drenaje que requiere el cultivo de cacao van relacionados al manejo que tiene el cultivo mediante los aporques y canales de drenaje que se realizan para evitar la compactación y encharcamiento que repercuten en el desarrollo de la planta y posterior rendimiento del cultivo.

Tabla 4. Características físicas de los suelos analizados en Tumupasa.

Punto	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
TUM-1	7 a 26	19	55	26	Franco Limoso
TUM-2	3 a 20	39	34	27	Franco Arcilloso
TUM-3	8 a 30	47	29	24	Franco
TUM-4	5 a 34	16	51	33	Franco Arcillo Limoso
TUM-5	12 a 34	29	45	26	Franco
TUM-6	4 a 35	13	50	37	Franco Arcillo Limoso
TUM-7	5 a 33	38	49	14	Franco
TUM-8	3 a 23	36	43	21	Franco
TUM-9	5 a 20	30	46	24	Franco
TUM-10	3 a 15	54	24	22	Franco Arcilloso Arenoso
TUM-11	8 a 22	46	32	22	Franco
TUM-12	0 a 20	42	40	18	Franco
TUM-13	7 a 30	29	47	24	Franco
TUM-14	18 a 45	32	44	24	Franco

Fuente: Elaboración propia en base a Miranda et al. (2020).

Por lo siguiente, la aptitud de suelos para el cultivo de cacao se analiza en las propiedades químicas, mismos que determinan la aptitud o no, de los catorce puntos muestreados en el distrito de Tumupasa.

**Propiedades químicas de suelos**

*Fósforo*

De acuerdo a los resultados de los análisis de suelos,

los puntos de muestreo 14, 4, 9, 12 y 11 presentan valores altos en contenido de fósforo disponible (P2O5); los puntos 13, 6, 7 y 1 presentan valores medios, mientras que los puntos 8, 5, 3, 10 y 2 son bajos; de acuerdo a ello el 71 % de las muestras analizadas presentan valores por encima de 5.1 ppm, valores medio-alto (Figura 1), por tanto, la región es clasificada como moderadamente apto para el cultivo de cacao en base al contenido de fósforo en el suelo.

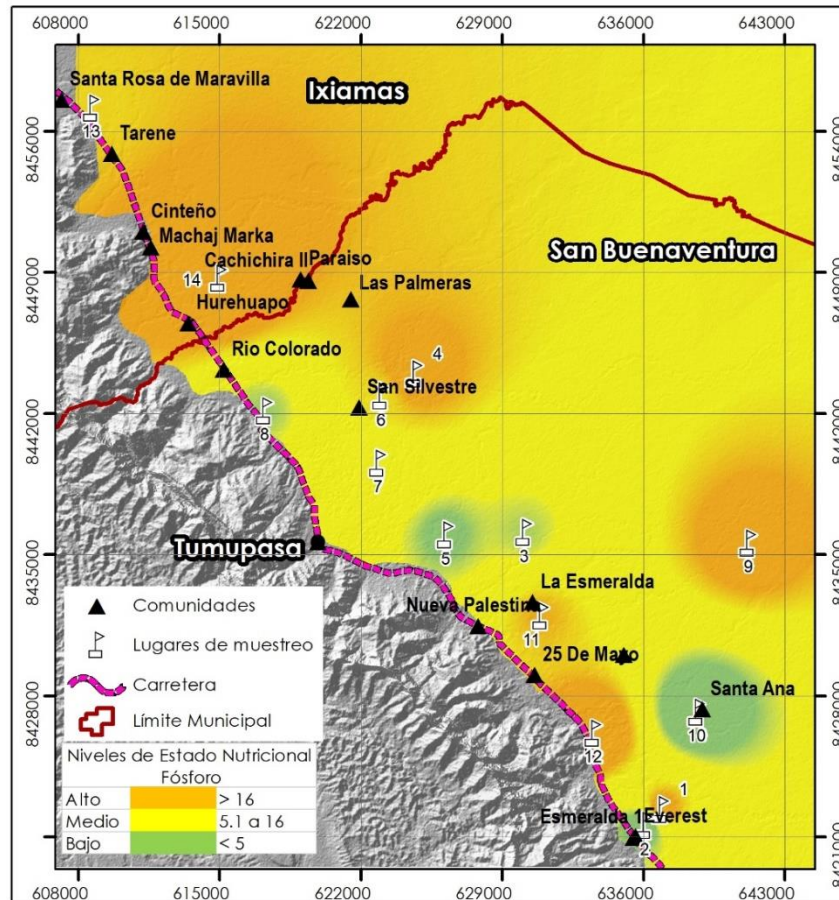


Figura 1. Distribución y contenido del fósforo en el área de estudio (Fuente: DEM ALOS PALSAR 2007 y Raster en base a interpolación de datos del estudio).

*Potasio*

En el caso del Potasio, estos, presentan un contenido de potasio intercambiable, medio-alto los mismos se encuentran en un 100 % de las muestras analizadas por encima de 0.16 meq 100g<sup>-1</sup> suelo (Figura 2), por tanto, la región es clasificada como moderadamente apto para el cultivo de cacao en base al contenido de potasio en el suelo. Para tener un adecuado manejo del potasio etapas posteriores al establecimiento, es necesario un calendario de fertilización de potasio,

dado que la planta de cacao absorbe potasio por ciclo productivo, mismo que debe ser restituido al suelo, donde se debe tomar en cuenta el análisis químico en laboratorio para tener idea de la cantidad exacta de potasio a introducir, sin embargo, como indican Lopez et.al. (2007), la dosis referencial de adición de potasio de 45, 90 y 135 g planta<sup>-1</sup>, favorece la disponibilidad de fósforo en el suelo, que, además al incrementarse el fósforo disminuye el número de esporas de hongos micorrizicos.



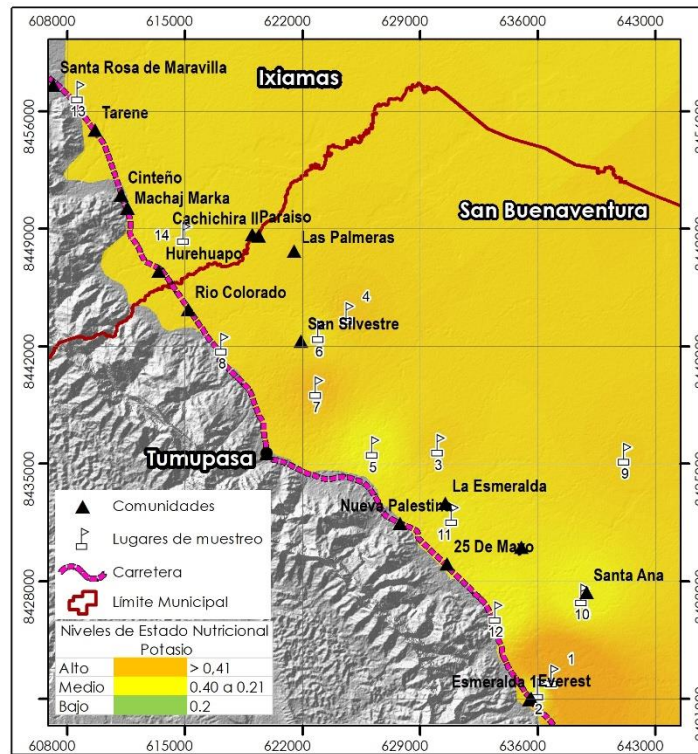


Figura 2. Distribución y contenido de potasio en el área de estudio (Fuente: DEM ALOS PALSAR 2007 y Raster en base a interpolación de datos del estudio).

*Capacidad de intercambio catiónico*

Para el análisis de la capacidad de intercambio catiónico, se evidenció un CIC medio con 57 % de las

muestras analizadas entre 5.1-30.0 meq 100g<sup>-1</sup> suelo (muestras 13, 4, 3, 6, 9, 1 y 2) y un CIC bajo menor de 12 meq 100g<sup>-1</sup> suelo en un 43 % de las muestras (14, 8, 7, 5, 11, 12) (Figura 3).

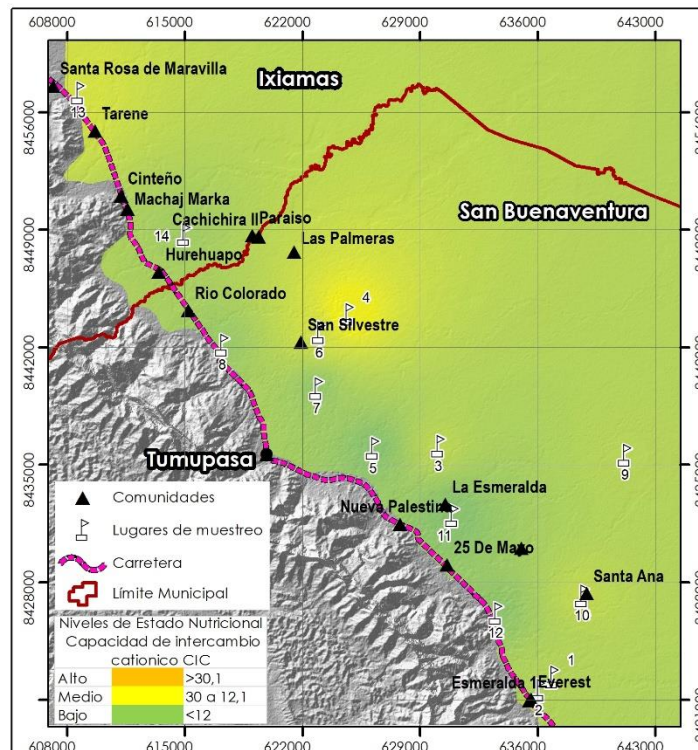


Figura 3. Distribución y contenido de la capacidad de intercambio catiónico en el área de estudio (Fuente: DEM ALOS PALSAR 2007 y Raster en base a interpolación de datos del estudio).

### Calcio y magnesio

De acuerdo a Miranda et al. 2020, otro factor edáfico que limita el desarrollo de las plantas es el contenido de calcio y magnesio, estos elementos son lixiviados debido a las precipitaciones pluviales que se dan en la región (1800 mm anuales). Para el análisis del calcio,

se evidenció un contenido de calcio intercambiable, medio-alto (muestras 13, 4, 6, 7, 5, 3, 1 y 9) los mismos se encuentran en un 78 % de las muestras analizadas por encima de 4.1 meq 100g<sup>-1</sup> suelo (Figura 4), por tanto, la región es clasificada como moderadamente apto para el cultivo de cacao en base al contenido de calcio en el suelo.

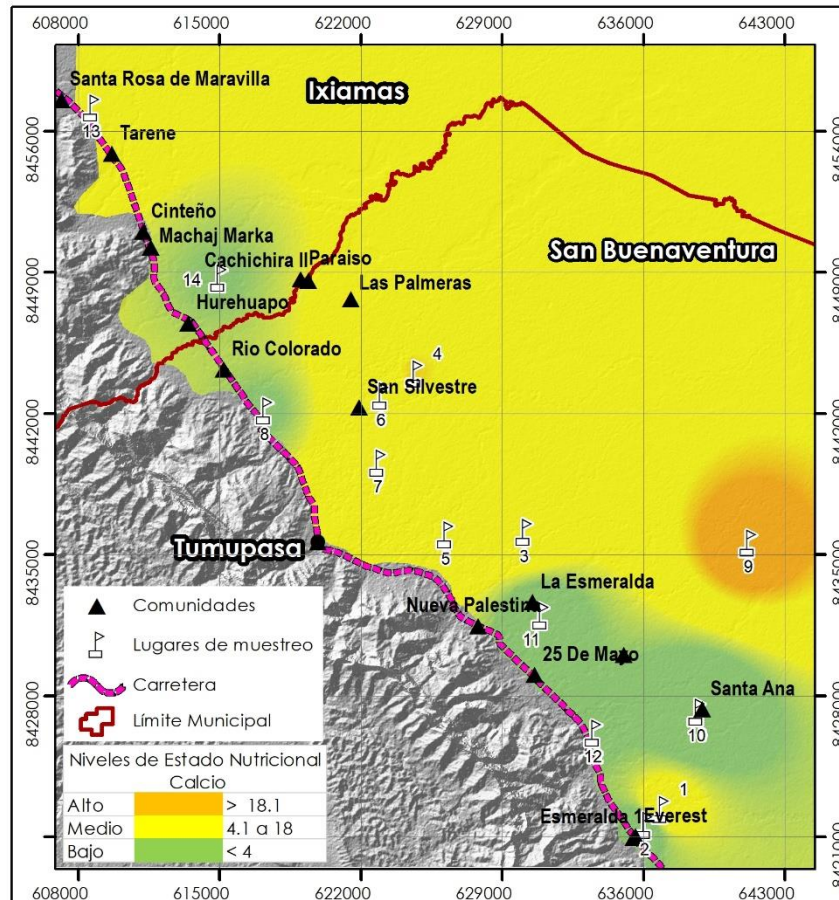


Figura 4. Distribución y contenido de calcio en el área de estudio (Fuente: DEM ALOS PALSAR 2007 y Raster en base a interpolación de datos del estudio).

De acuerdo a los resultados de los análisis de suelos, estos, presentan un contenido de magnesio intercambiable, medio-alto los mismos se encuentran en un 71 % de las muestras analizadas (muestras 13,

14, 8, 6, 7, 4, 5, 3, 9 y 1) por encima de 0.9 meq 100g<sup>-1</sup> suelo (Figura 5), por tanto, la región es clasificada como moderadamente apto para el cultivo de cacao en base al contenido de magnesio en el suelo.



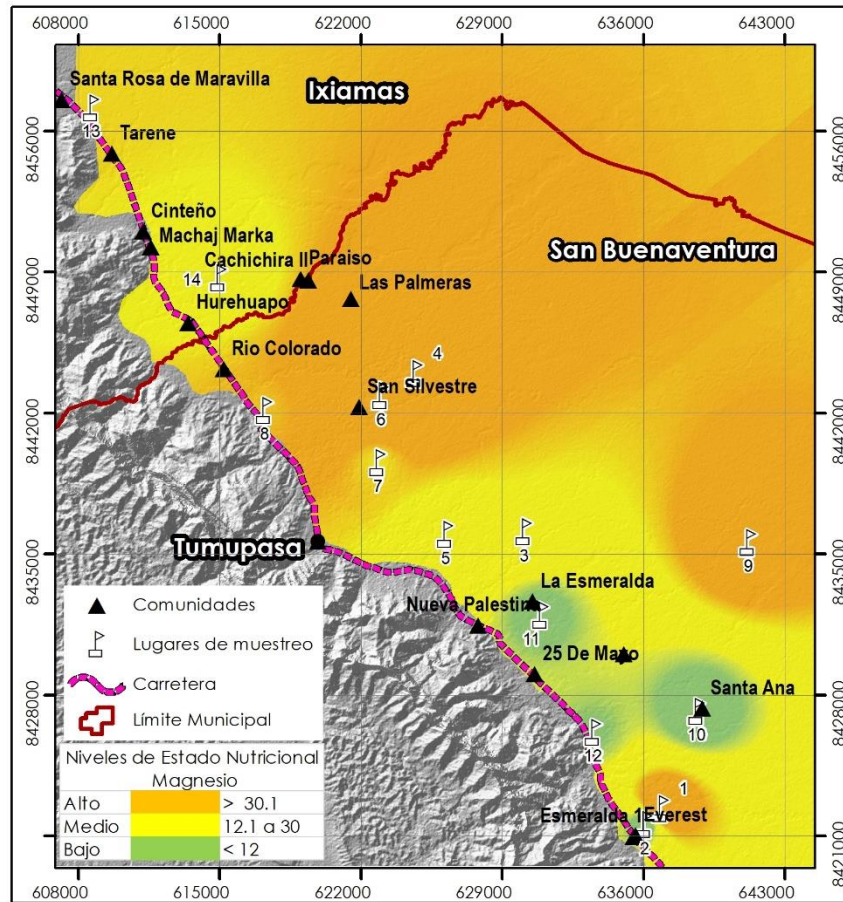


Figura 5. Distribución y contenido de magnesio en el área de estudio (Fuente: DEM ALOS PALSAR 2007 y Raster en base a interpolación de datos del estudio).

### Nitrógeno

El contenido de nitrógeno no es determinante en la aptitud del suelo para el cacao, sin embargo, este nutriente está asociada a la materia orgánica, la misma se encuentra en los primeros 10 cm. Con la habilitación de suelos para la agricultura se acelera los procesos de mineralización de los residuos o de la cobertura vegetal, lo que podría ocasionar un descenso rápido de este nutriente (Miranda et al. 2020).

De acuerdo al análisis del porcentaje de nitrógeno total, se evidencia con porcentaje bajo los mismos se encuentran en un 79 % de las muestras analizadas por

debajo de 0.2 % de nitrógeno total (muestras 13, 8, 7, 4, 5, 9, 11, 12, 10, 1 y 2); sin embargo, un 21 % de las muestras presentan un contenido medio (muestras 14, 6, 3) (Figura 6), esto puede deberse a la característica de estos suelos tropicales son jóvenes, encontrándose en proceso formación. Además, las características productivas del cacao, es asociada a varias especies que no solo ayudan generando sombra en su crecimiento, sino también, adicionan biomasa al suelo que se transforma en materia orgánica, que por procesos de nitrificación y mineralización, pueden ser absorbidos por la planta, dado que juega un papel primordial en la fisiología y arquitectura de la planta de cacao (Carrillo et al. 2010).

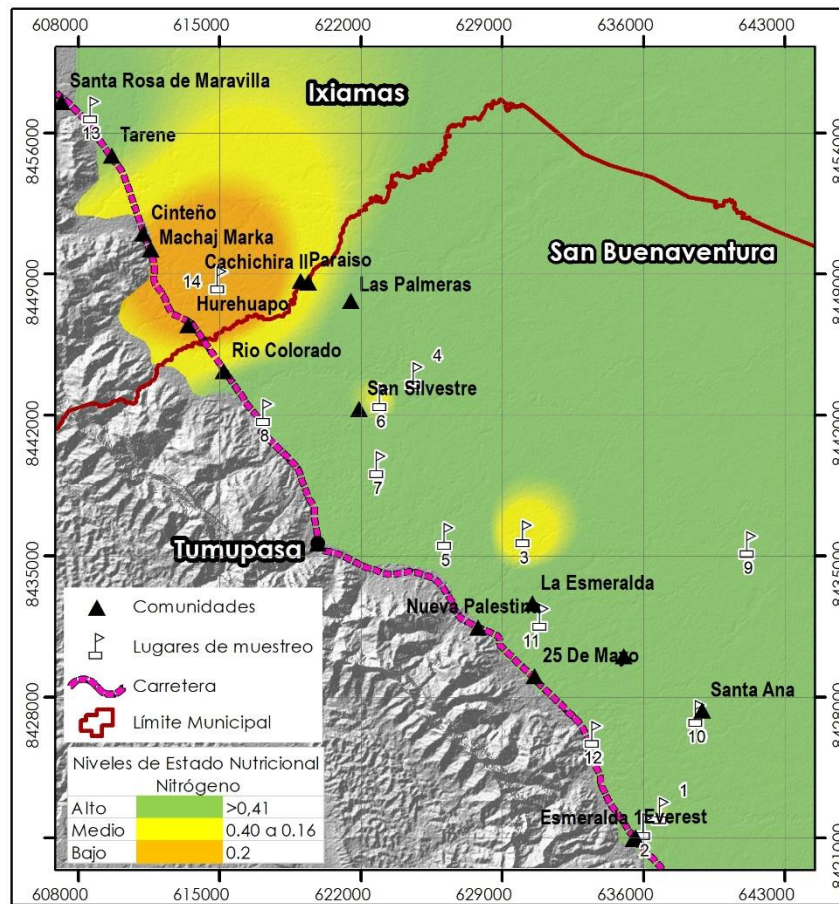


Figura 6. Distribución y contenido del nitrógeno total en el área de estudio. Fuente: DEM ALOS PALSAR 2007 y Raster en base a interpolación de datos del estudio.

### Materia orgánica

De acuerdo a los resultados de los análisis de suelos, estos, presentan un porcentaje de Materia Orgánica bajo los mismos se encuentran en un 86 % de las muestras analizadas (2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14) por debajo de 3 % (Figura 7), por tanto, la región es clasificada como no apto para el cultivo de cacao en base al porcentaje de materia orgánica en el suelo. El contenido de materia orgánica viene directamente relacionado con el contenido de nitrógeno en el suelo,

donde algunos autores sugirieren el uso de biofertilizantes sobre los fertilizantes inorgánicos indicando que no se detectó efecto de los fertilizantes NPK (urea, superfosfato triple y potasio) sobre las plantas de cacao (Sánchez et al. 2005), donde la adición de biofertilizantes como los bioles de broza de café y estiércol de bovino al 5 y 10 % son una alternativa para el correcto establecimiento y adaptación de los plantines de cacao (Corrales y Maldonado, 2019).

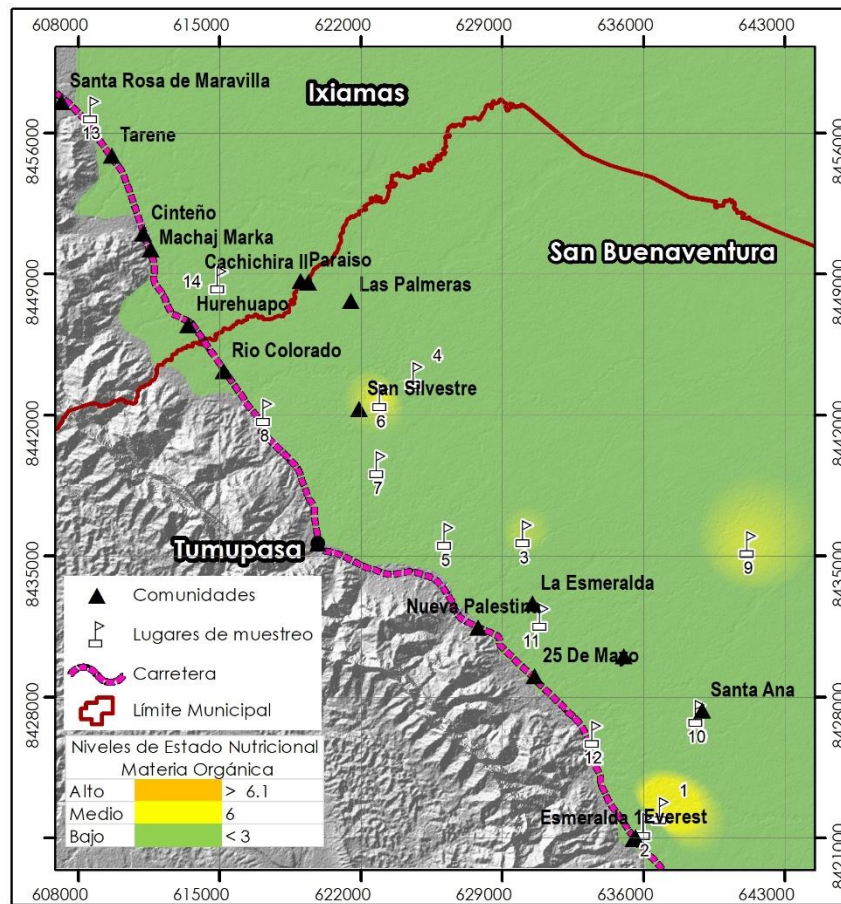


Figura 7. Distribución y contenido de materia orgánica en el área de estudio (Fuente: DEM ALOS PALSAR 2007 y Raster en base a interpolación de datos del estudio).

### Aptitud de uso de suelo para el cacao

Como se puede ver en la Figura 8, los puntos de muestreo número 7, 5, 11, 10 y 12 tienen suelos con un nivel bajo de nutrientes para el cultivo de cacao, por tanto, se consideran no aptos para el cultivo de cacao. En contraste los puntos de muestreo número 1, 2, 9, 4, 6, 8, 13 y 14, muestran suelos con un nivel de nutrientes medio a alto, considerando estos como Aptos, para el cultivo de cacao.

Sin embargo, los suelos con un bajo contenido de nutrientes, se evidencian en tablas anteriores que el mismo se debe principalmente al déficit de nitrógeno, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, los cuales con una adecuada fertilización con nitrógeno y adición de materia orgánica puede elevar el contenido y posterior asimilación por la planta de cacao para un adecuado desarrollo.



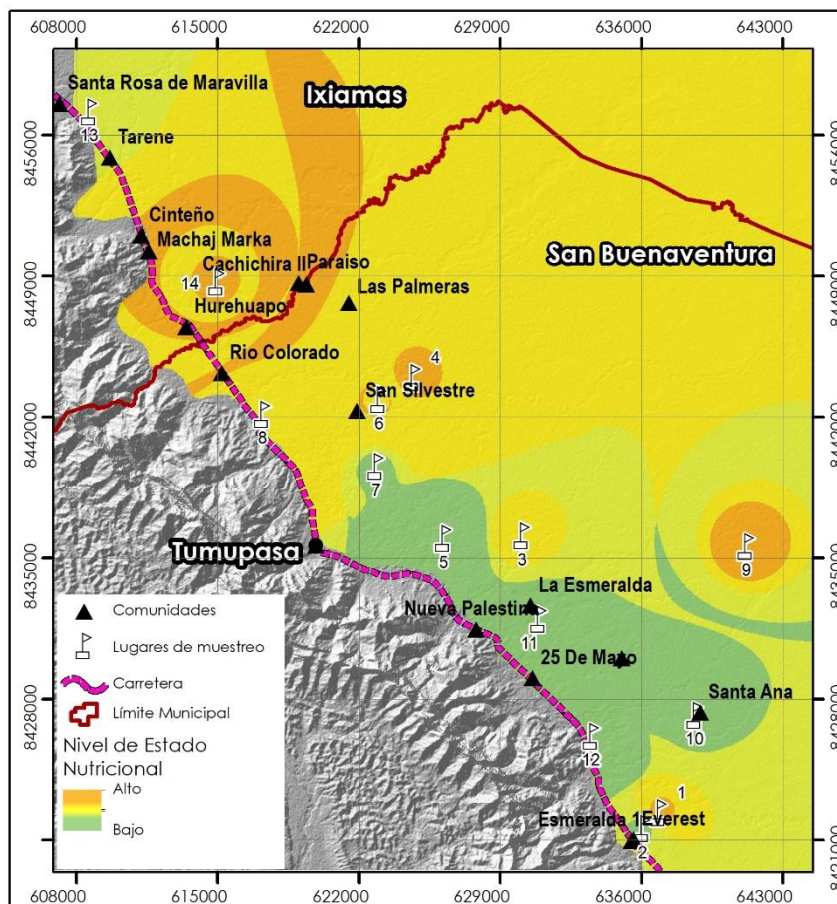


Figura 8. Aptitud de uso de la tierra para el cultivo de cacao. Fuente: DEM ALOS PALSAR 2007, y Raster en base a interpolación de datos del estudio.

El uso de fertilizantes químicos y orgánicos mejoró significativamente los parámetros de crecimiento del cacao, el rendimiento de materia fresca y seca y la composición química de las hojas y el suelo. Sin embargo, la adición de materiales orgánicos como cáscara y ceniza de mazorca de cacao como fuentes de nutrientes produjo efectos promisorios sobre las plántulas de cacao comparables a los fertilizantes inorgánicos; por lo tanto, se recomiendan para el establecimiento de plántulas de cacao (Adejobi et al., 2013). En términos generales, Arvelo et al. (2017) recomienda un esquema general de fertilización incluye un primer abonado de las plantas después del segundo mes del trasplante con alto contenido de fósforo y nitrógeno que deberá replicarse seis meses después. El segundo año se aplica un esquema similar con dos fertilizaciones anuales, pero aumentando la dosis de fertilizante en 20 %. A partir del tercer año se recomienda fertilizar el cacaotal después de la poda, aumentando la dosis en un 10 % por año e incorporando una fórmula completa que contenga potasio y microelementos, hasta el quinto año, cuando se deberá realizar un nuevo análisis de suelo para

ajustar la dosis de fertilizante a ser aplicada. Los periodos o momentos específicos de fertilización dependerán de las condiciones climáticas de cada zona, preferiblemente antes de los periodos intensos de lluvia.

## CONCLUSIONES

El distrito de Tumupasa del municipio de San Buenaventura, presenta condiciones favorables en la aptitud de uso de suelos para el cultivo de cacao, sin embargo, de acuerdo a los análisis químicos de los suelos, se evidencia que el nutriente limitante es el nitrógeno, ya que en un 79 % de los suelos analizados se encuentran en niveles bajos de 0.2 % nitrógeno total, esto también se contrasta con el porcentaje de materia orgánica, que presentan un nivel bajo en un 86 % de suelos analizados, mismos que pueden atribuirse al contenido de acidez de los suelos, condición que limita la absorción de nutrientes como el nitrógeno hacia la planta de cacao. Para las condiciones climáticas, la región de Tumupasa presenta condiciones favorables en el parámetro de temperatura media anual (24.3°C),

humedad relativa del ambiente (85 %), precipitación anual (2 330 mm) y altitud (200-368 m s.n.m.) que requiere el cultivo de cacao, por tanto, en el ámbito de clima puede decirse que tiene condiciones aptas para el cultivo. Para las características físicas de los suelos, la textura evidenciada en todas las muestras de suelos varía de franco, franco arcilloso, franco arenoso, franco limoso, franco arcilloso arenoso y franco arcillo limoso, mismos que son aptas para el cultivo de cacao.

Para las características químicas de los suelos se evidencia que se cuenta con valores medio a altos en los contenidos de fósforo (71 % muestras analizadas), potasio (86 % muestras analizadas), calcio (78 % muestras analizadas), magnesio (71 % muestras analizadas). Sin embargo, se nota un contenido bajo en materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico, llegando a tener un 57 % (nivel medio) y 43 % (nivel bajo) para el cultivo de cacao.

La característica del cultivo de cacao y la que se viene promoviendo por diferentes instituciones gubernamentales, universidades y organizaciones no gubernamentales, es mediante los sistemas agroforestales, el cual, uno de los principales ventajas es la asociación con diferentes especies como leguminosas, semi perenes que aportan biomasa mediante la hojarasca que cae al suelo, el mismo se traduce en un incremento en el nivel de materia orgánica y posteriormente por procesos de nitrificación y mineralización en nitrógeno.

Se recomienda un estudio complementario de acidez de suelos y el comportamiento del cultivo de cacao en un panorama de suelos ácidos, teniendo como parámetro a ser evaluado el contenido de aluminio y la saturación de aluminio recomendado para el cultivo, conociendo que Tumupasa es una región en la que predomina los suelos ácidos.

## BIBLIOGRAFÍA

Adejobi, K; Akanbi, O; Ugioro, O; Adeosun, S; Mohamed, I; Nduka, B; Adeniyi, D. 2013. Comparative effects of NPK fertilizer, cowpea pod husk and some tree crops wastes on soil, leaf chemical properties and growth performance of cocoa (*Theobroma cacao* L.) (en línea). African Journal of Plant Science 8(2):103-107. Consultado 04 jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJPS12.181>

Arvelo, M; Gonzales, D; Maroto, S; Delgado, T; Montoya, P. 2017. Manual técnico del cultivo de

cacao Practicas latinoamericanas (en línea). Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. Consultado 15 feb. 2021. Disponible en

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjCs5SKqsjzAhW1FrkGHctQCT4QFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.iica.int%2Fbitstream%2F11324%2F6181%2F1%2FBVE17089191e.pdf&usg=AOvVaw1uqxzSnljkyq5fosjpQG>

Bazoberry, O; Salazar, C. 2009. El Cacao en Bolivia. Una alternativa económica de base campesina indígena. Centro de investigación y apoyo del campesinado CIPCA. Cuadernos de investigación 72. 71 p.

Callizaya, A; Mendoza, J; Butron, S; Copa, I; Mendoza, M. 2020. Evaluación preliminar de los recursos hídricos de las cuencas del río Mamuque, Ebutudhu y Tumupasa y de la dinámica de la laguna Moa. División de Desarrollo integral del Norte Amazónico, Universidad Mayor de San Andrés. Cuadernillo Técnico N° 23. 10 p.

Carrillo, M; Recalde, M; Sanchez, J. 2010. Manejo de la nutrición del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), tipo nacional y CCN-51 en etapa de establecimiento. XII Congreso ecuatoriano de la ciencia del suelo. Universidad Tecnológica Equinoccial. 10 p.

CECAD (Centro de capacitación para el desarrollo). s.f. Plan territorial de desarrollo integral Municipio de San Buenaventura 2016 - 2020. Gobierno Autónomo Municipal de San Buenaventura. Centro de capacitación para el desarrollo CECAD. Proyecto BOL79912 (en línea). Viceministerio de Medio Ambiente, biodiversidad, cambios climáticos y de gestión y desarrollo forestal. Consultado 01 feb. 2021. Disponible en <http://autonomias.gobernacionlapaz.com/sim/municipioptdi.php?mn=68>

Corrales, D; Maldonado, C. 2019. Aplicación de biofertilizantes en plantines de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Sapecho – Alto Beni (en línea). Revista Apthapi 5(3):1646-1651. Consultado 01 feb. 2021. Disponible en <http://apthapi.agro.umsa.bo/index.php/ATP/articloe/view/30>

Cruz, D; Maldonado, C. 2020. Enfermedades fitopatológicas de importancia económica del cultivo de cacao en Bolivia. División de desarrollo integral del norte amazónico, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 12 p.



- FAO. 1976. A framework for land evaluation. Soils Bulletin 32. FAO, Roma.
- GAMSB (Gobierno Autónomo Municipal de San Buenaventura). 2014. Plan de Desarrollo Municipal San Buenaventura 2015- 2016. Unión europea. San Buenaventura, Bolivia. 196 p.
- GMSB (Gobierno Municipal de San Buenaventura). 2009. Plan municipal de ordenamiento territorial San Buenaventura (en línea). Consultado 03 feb. 2021. Disponible en [https://www.academia.edu/34943979/PLAN\\_MUNICIPAL\\_DE\\_ORDENAMIENTO\\_TERRITORIAL](https://www.academia.edu/34943979/PLAN_MUNICIPAL_DE_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL)
- July, W. 2019. Diagnóstico para el desarrollo integral de los recursos naturales producidos en la región del norte amazónico de Bolivia. División de desarrollo integral del norte amazónico, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 60 p.
- Liebig, VJ. 1840. Química orgánica aplicada a la agricultura y a la fisiología. Traducida del inglés, 1842.
- López, M; Lopez de Rojas, I; España, M; Izquierdo, A; Herrera, L. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de teobroma cacao (en línea). *Agronomía Tropical* 57(1). Consultado 11 ene. 2021. Disponible en [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2007000100005](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2007000100005)
- Malky, A; Espinoza, S. 2010. Factibilidad financiera y proyección de negocio para la producción de cacao en el norte del departamento de La Paz (en línea). *Conservación Strategy Fund. Serie técnica No. 19*. Consultado 02 feb. 2021. Disponible en [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiYkL24ocjzAhXwILkGHanMC7QQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.consevation-strategy.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Ffile%2F19\\_Cacao.pdf&usg=AOvVaw00VMJJsAB39gq8m1cvkTIt](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiYkL24ocjzAhXwILkGHanMC7QQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.consevation-strategy.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Ffile%2F19_Cacao.pdf&usg=AOvVaw00VMJJsAB39gq8m1cvkTIt)
- 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.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. 2009. Libro Rojo de Parientes Silvestres de Cultivos de Bolivia. PLURAL (editores). La Paz, Bolivia. 344 p.
- Miranda, R; Marza, R; Calle, J; Choque, C; Mendoza, M; Cruz, D; Aparicio, J. 2020. Aptitud de uso de suelo para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la localidad de Tumupasa, Municipio de San Buenaventura – La Paz (en línea). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 8(1):25-36. Consultado 24 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.53287/nifr9985kb87s>
- Salvatore, M; Kassam, A; Gutierrez, A; Bloise, M; Marinelli, M. s.f. Metodología de evaluación de aptitud de tierras (en línea). Capítulo 3. Consultado 13 oct. 2021. Disponible en <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiuplnxcjzAhValbkGHXmJCeoQFnoECA sQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fi1708s%2Fi1708s02.pdf&usg=AOvVaw37K0gE9bHskvkPNr9cCd9r>
- Sánchez, L; Parra, D; Gamboa, E; Rincon, J. 2005. Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela (en línea). *Biagro* 17(2). Consultado el 03 ene. 2021. Disponible en [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612005000200008&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612005000200008&script=sci_arttext)
- Snoeck, D; Koko, L; Joffre, J; Bastide, P; Jagoret, P. 2016. Cacao nutrition and fertilitation (en línea). Springer International Publishing Switzerland. Springer 19. Consultado 31 ene. 2021. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4)

Artículo recibido en: 26 de julio 2021

Aceptado en: 21 de octubre 2021