

EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE
SUELOS CULTIVADOS CON CACAO, *Theobroma cacao* L, EN EL
MUNICIPIO DE TUMACO, NARIÑO

JAYDY SEGURA ESTUPIÑAN

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y SISTEMAS
AGROFORESTALES
MAESTRIA EN AGROFORESTERIA TROPICAL
SAN JUAN DE PASTO

2018

EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE
SUELOS CULTIVADOS CON CACAO, *Theobroma cacao* L, EN EL
MUNICIPIO DE TUMACO, NARIÑO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster en Agroforestería Tropical

JAYDY SEGURA ESTUPIÑAN

Presidente de Tesis:

JORGE FERNANDO NAVIA, Ph.D

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y SISTEMAS
AGROFORESTALES
MAESTRÍA EN AGROFORESTERÍA TROPICAL
SAN JUAN DE PASTO

2018

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÒN

Jesùs Antonio Castillo. Ph.D.

Jurado delegado

Jairo Hernan Mosquera. Ph.D.

Jurado

Hugo Erazo. Ph.D.

Jurado

Jorge Fernando Navia. Ph.D.

Presidente

San Juan de Pasto, Noviembre de 2018

DEDICATORIA

Al Padre, El Hijo y El Espíritu Santo que día a día estuvieron conmigo, ayudándome a alcanzar este sueño en mi vida. Todo lo que soy y seré es gracias al favor y la misericordia de Dios. Gracias por escogerme como tu hija, amarme, cuidarme y darme sabiduría para culminar esta etapa de mi vida. Sin ti Dios, nada soy

A mis padres Pedro Nel Segura y Josefina Estupiñan por su amor y apoyo incondicional para lograr este avance en mi vida.

A mis hermanos, Janeth y Jordy por su colaboración.

A mi hija Manuela por ser el motor de mi vida, después de Dios es el más grande tesoro que tengo y que deseo disfrutar cada día de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su gran fidelidad y amor.

A los Consejos Comunitarios Unión del Río Chagui, Recuerdo de nuestros Ancestros Río Mejicano , Río Tablón Dulce y La Nupa en donde se realizó esta investigación,

Agradezco a los productores de cacao de cada una de las fincas por su colaboración para hacer posible la realización de esta investigación.

A la Universidad de Nariño por contribuir a mi formación profesional.

Al doctor Jorge Fernando Navia, Ph.D. presidente de tesis por su apoyo e instrucción en la construcción de este proyecto.

Al doctor Jairo Mosquera, Ph. D. Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño.

Al doctor Jesús Castillo, . Ingeniero Agrónomo Ph. D en Suelos. Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

Al doctor Hugo Ruiz Eraso., Ph. D. Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño.

A Evelio Aguijo, MSc. por impulsarme a continuar avanzando a nivel profesional.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por suministrarme el tiempo para realizar esta investigación.

Al doctor Castilla por ser quien me inquieto a realizar esta investigación, Corporación colombiana de investigaciones agropecuarias (AGROSAVIA).

A Manfred Ricardo Palacios por su apoyo.

A José Ives Pérez por su guía y colaboración y a cada una de las personas que me asistieron en realizar esta investigación.

CONTENIDO

| | Pàg. |
|--|-------------|
| RESUMEN..... | 14 |
| ABSTRAC..... | 16 |
| I INTRODUCCIÓN | 18 |
| II MARCO TEÓRICO | 22 |
| 2.1 Suelos | 22 |
| 2.1.1 Textura | 22 |
| 2.1.2 Densidad aparente | 23 |
| 2.1.3 Porosidad Total | 23 |
| 2.1.4 pH | 23 |
| 2.1.5 Capacidad de intercambio catiónico | 24 |
| 2.1.6 Materia orgànica | 24 |
| 2.2 Generalidades del cultivo de cacao | 24 |
| 2.2.1 Requerimientos nutricionales para el cultivo de cacao..... | 25 |
| 2.3 Zonas agroecológicas relevantes en el cultivo de cacao | 26 |
| 2.3.1 Tipos de paisaje..... | 26 |

| | |
|---|----|
| 2.3.1.1 Planicie aluvial | 27 |
| 2.3.1.2 Piedemonte..... | 28 |
| 2.3.1.3 Lomerio | 28 |
| 2.4 Estudios de caso | 28 |
| 2.4.1 Suelos por tipo de paisaje asociados al cultivo de palma de aceite en la zona suroccidental de Colombia. | 28 |
| 2.4.2 Genesis y evolución de suelos del valle de Sibundoy-Colombia | 30 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 31 |
| 3.1 Localización..... | 31 |
| 3.2 Determinación de la zona de estudio..... | 31 |
| 3.2.1 Clasificación y selección de fincas..... | 32 |
| 3.3 Diseño experimental..... | 33 |
| 3.4 Muestreo de suelos..... | 33 |
| 3.5 Variables a evaluar..... | 35 |
| 3.5.1 Propiedades físicas y químicas por profundidad del suelo..... | 35 |
| 3.5.2 Índice de mazorca..... | 36 |
| 3.5.3 Índice de grano..... | 37 |
| 3.5.4 Producción..... | 37 |
| 3.6 Análisis estadístico..... | 38 |
| IV . RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 39 |
| 4.1 Determinación del orden de suelos..... | 39 |
| 4.2 Análisis de varianza..... | 45 |
| 4.2.1 Propiedades físicas y químicas por profundidad del suelo..... | 45 |
| 4.2.2 Propiedades físicas y químicas por paisaje..... | 46 |
| 4.3 Análisis por componentes principales..... | 51 |
| 4.4 Análisis de conglomerados..... | 54 |
| 4.5 Correlación entre propiedades fisicoquímicas y producción..... | 55 |
| 4.5.1 Índice de mazorca..... | 55 |
| 4.5.2 Índice de grano..... | 56 |
| 4.5.3 Producción..... | 56 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4.6 | Análisis de correlación de Pearson..... | 56 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 60 |
| VI. | BIBLIOGRAFIA..... | 61 |
| | ANEXOS..... | 70 |

LISTA DE FIGURAS

| | Págs. |
|--|-------|
| Figura 1. Mapa de Tumaco, en Nariño. | 31 |
| Figura 2. Fincas georeferenciadas por tipos de paisaje..... | 33 |
| Figura 3. Puntos de muestreo de suelos en fincas seleccionadas | 34 |
| Figura 4. Dendrograma de las variables físicas y químicas por tipo de paisaje, en San Andrés de Tumaco, 2017-2018..... | 55 |
| Figura 5. Producción promedia de frutos sanos por árbol, en los diferentes tipos de paisaje de San Andrés de Tumaco, 2017-2018..... | 56 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. . Variables y técnicas utilizadas para las propiedades físicas y químicas del suelo..... | 36 |
| Tabla 2. Clasificación del orden de suelos, con relación a las calicatas por tipo de paisaje..... | 40 |
| Tabla 3. Propiedades físicas por orden de suelos, con relación a las calicatas por tipo de paisaje..... | 41 |
| Tabla 4. Propiedades químicas por orden de suelos, con relación a las calicatas por tipo de paisaje..... | 44 |
| Tabla 5. Estadística descriptiva numérica (Media \pm desviación estándar), análisis de varianza y prueba de Tukey ($p < 0.05$) por profundidad (0-10 cms y 10-25 cms)..... | 46 |
| Tabla 6. Estadística descriptiva numérica (Media \pm desviación estándar), análisis de varianza y prueba de Tukey ($p < 0.05$) de variables físicas y químicas de suelos..... | 47 |
| Tabla 7. Proporción y varianza para la selección de componentes principales en el tipo de paisaje..... | 52 |
| Tabla 8. Valores de cada uno de los componentes y su influencia en el tipo de paisaje de San Andrés de Tumaco, 2017-2018..... | 53 |
| Tabla 9. Matriz de correlación entre las propiedades de los suelos cacaoteros, en los diferentes tipos de paisaje, de San Andrés de Tumaco, 2017-2018..... | 59 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Anexo A. Formato de encuesta de productores de cacao | 71 |
| Anexo B. Localización de fincas muestreadas | 72 |
| Anexo C. Georreferenciación de puntos de muestreo | 73 |
| Anexo D. Formato registro de registro de producción | 74 |
| Anexo E. Formato índice de mazorca..... | 75 |

RESUMEN

La evaluación de suelos en sus propiedades físicas y químicas con relación a los diversos paisajes, permiten conocer y planificar el sistema productivo de cacao en San Andrés de Tumaco, generando información básica para planes de fertilización y manejo. Esta investigación, se realizó en el municipio de San Andrés de Tumaco, departamento de Nariño, localizado a 1°49´ de latitud norte y a 79°46´ de longitud oeste del meridiano de Greenwich, al sur occidente de Colombia. El objetivo de esta investigación fue evaluar algunas propiedades físicas y químicas de suelos cultivados con cacao, *Teobroma cacao* L, en el municipio de Tumaco, Nariño.

Se utilizó un diseño bloques completos al azar, donde el efecto de bloques correspondió a tipos de paisaje (planicie aluvial, piedemonte y lomerío) donde se utilizaron como tratamientos (cuatro fincas por paisaje); profundidades (0-10 cm; 10-25 cm), para un total de 12 unidades experimentales con condiciones similares, principalmente no fertilización, y se evaluaron algunas propiedades físicas como textura, densidad aparente, densidad real, porosidad total, estabilidad de agregados en seco y húmedo, y químicas, como pH, %MO,%CO, N total, P, CIC, Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn Cu, Zn, B y S. Además, se realizó análisis de varianza, multivariado, correlaciones entre tipos de paisajes, variables fisicoquímicas y producción.

Con relación a los resultados, las variables físicas del suelo, no presentaron diferencias significativas, mientras que en las químicas, se presentaron diferencias significativas entre los órdenes, entisol e inceptisol en los tipos de paisajes, en materia orgánica, nitrógeno total, hierro, zinc y azufre, y diferencias significativas para carbono. En la prueba de comparación de medias de Tukey en el paisaje planicie aluvial, fue donde se encontró mayor contenido de estos elementos. Con respecto a la profundidad, se mostró diferencia significativa ($P < 0,05$) para las variables hierro, cobre y boro.

La correlación entre las propiedades físicas y químicas con producción no presentó una marcada diferencia, pero hay una tendencia a mejor producción, en el paisaje de lomerío, referente a las variables Ca, Mg, K, CIC y estabilidad de agregados del suelo en seco.

Esta investigación, aporta una oferta de conocimiento de algunas propiedades físicas y químicas de suelos, en los diferentes tipos de paisaje, para su uso potencial, establecimiento de nuevas siembras y manejo de las áreas establecidas del cultivo de cacao. en el municipio de Tumaco, Nariño.

PALABRAS CLAVES: *Theobroma cacao* L., paisaje, manejo del suelo, producción.

ABSTRAC

The evaluation of soils in their physical and chemical properties in relation to the different landscapes, allow to know and plan the cocoa production system in San Andrés de Tumaco, generating basic information for fertilization and management plans. This investigation was carried out in the municipality of San Andrés de Tumaco, department of Nariño, located at $1^{\circ} 49'$ north latitude and at $79^{\circ} 46'$ west longitude of the meridian of Greenwich, south west of Colombia. The objective of this investigation was to evaluate some physical and chemical properties of soils cultivated with cocoa, *Theobroma cacao* L, in the municipality of Tumaco, Nariño.

A randomized complete blocks design was used, where the effect of blocks corresponded to landscape types (alluvial plain, piedmont and lomerío) where they were used as treatments (four farms per landscape); depths (0-10 cm, 10-25 cm), for a total of 12 experimental units with similar conditions, mainly no fertilization, and some physical properties were assessed as texture, bulk density, real density, total porosity, stability of aggregates in dry and humid, and chemical, such as pH, % MO, % CO, total N, P, CIC, Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn Cu, Zn, B and S. In addition, analysis of variance was performed, multivariate, correlations between types of landscapes, physicochemical variables and production.

Regarding the results, the physical variables of the soil did not present significant differences, while in the chemical ones, there were significant differences between the orders, entisol and inceptisol in the types of landscapes, in organic matter, total

nitrogen, iron, zinc and sulfur, and significant differences for carbon. In the comparison test of Tukey's soils in the alluvial plain landscape, it was where the highest content of these elements was found. With respect to depth, significant difference ($P < 0.05$) was shown for the variables iron, copper and boron.

The correlation between physical and chemical properties with production did not show a marked difference, but there is a tendency to better production, in the lomerío landscape, referring to the variables Ca, Mg, K, CIC and stability of dry soil aggregates.

This research provides an offer of knowledge of some physical and chemical properties of soils, in different types of landscape, for their potential use, establishment of new sowings and management of established areas of cocoa cultivation. in the municipality of Tumaco, Nariño.

KEY WORDS: *Theobroma cacao* L., landscape, soil management, production.

I.INTRODUCCIÓN

El suelo, es la base para el establecimiento de cualquier proyecto agrícola, pecuario o forestal, de donde, antes de establecer el sistema productivo, es necesario evaluar las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo, así, detectar sus limitantes y poder determinar cuál es su uso adecuado y el manejo racional que debería dársele (Osorio, 1997). En la producción del cultivo, tres factores principales influyen sobre el rendimiento: el clima, el suelo y los requerimientos el cultivo, elementos necesarios para definir las estrategias de manejo del sistema productivo (Leiva, 2012).

En Colombia, el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L) tiene una connotación socioeconómica muy importante; involucra 40.000 familias productoras, genera 82.000 empleos directos, con una producción de 60.535 toneladas en 2017 (FEDECACAO, 2017).

Actualmente, se cultiva en la mayoría de los departamentos del territorio nacional, incluyendo el departamento de Nariño, con una área de 18.092 hectáreas (Agronet, 2016). Para el mismo año, el departamento alcanzó una producción de 5.871 toneladas de grano de cacao seco, ubicándose como el segundo departamento en producción a nivel nacional. El cacao producido en la región pacífica de Nariño, se reconoce de manera especial, debido a sus atributos organolépticos, caracterizándose por tener aromas con tonos frutales y florales, y

buen sabor a chocolate (Casa Luker, 2011); el 76 % del cacao de Nariño, se genera en la costa pacífica (Soic, 2014).

El Cacao, se cultiva desde los 100 hasta los 1.400 m.s.n.m., en paisajes, que van desde montaña a planicies aluviales y en ambientes secos y per húmedos, en condiciones edáficas, fisiográficas y climáticas, de diferentes ambientes agroecológicos, que responden de manera diferencial a recomendaciones tecnológicas (CORPOICA, 2005).

Rincón, *et. al.*, (2016) plantean, que la diferenciación de tipo de paisaje y relieve, permite inferir sobre la variación de los suelos y es una herramienta útil tanto en la selección de tierras aptas, como en la identificación de sus limitaciones y potencialidades de uso, en áreas con nuevas siembras; además, generalmente las plantaciones de cacao, están localizadas en suelos que varían desde arcillas pesadas muy erosionadas, hasta arenas volcánicas recién formadas y limos, con pH que oscilan entre 4,0 y 7,0, donde se puede decir que el cacao es una planta que prospera en una amplia diversidad de tipos de suelo (ANACAFE, 2004).

En Tumaco, los bajos rendimientos en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) están, en parte, relacionados con factores físicos y químicos del suelo, manejo del cultivo y el potencial genético de los materiales cultivados (NACAYAMA, 2010).

El cultivo de cacao en el municipio de Tumaco, se ha manejado de forma tradicional con diferentes componentes y distancias de siembra, no sistemática, esto se ha realizado con la finalidad de diversificar la producción y obtener ingresos de especies maderables y/o frutales, alcanzando rendimientos que están alrededor de los $275 \text{ kg}^1 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, muy por debajo del promedio nacional que es de $450 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Casa Luker, 2006).

Recientemente, el Plan Decenal Cacaotero 2012-2021, proyectó expandir la producción cacaotera con diversas estrategias dentro de las que se cuentan el establecimiento de 150.000 ha nuevas, la renovación de otras 40.000 ha y el incremento en la producción de 400 a $1.200 \text{ kg}^1 \text{ ha}^{-1}$ por año (MADR, 2012).

Esta investigación, surge de la necesidad de conocer algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, en diferentes tipos de paisaje donde se han establecido los sistemas productivos de cacao en el municipio de Tumaco, y así, evaluar si son sitios apropiados para el cultivo, para seleccionar áreas para nuevas siembras, sobre todo en el marco del posconflicto que se pretende sustituir, principalmente con este cultivo. Para el éxito de estas estrategias se requiere entre otros, la planificación e implementación de prácticas de manejo adecuadas, teniendo en cuenta la marcada variabilidad en los suelos que influye en el potencial productivo del cultivo.

El presente trabajo, tiene como principal objetivo: Evaluar algunas propiedades físicas y químicas de suelos por tipo de paisaje cultivados con cacao, en el municipio de Tumaco, Nariño. Los objetivos específicos son: Determinar algunas

propiedades físicas de suelos cultivados con cacao en el municipio de Tumaco, Nariño, determinar algunas propiedades químicas en los suelos de los diferentes tipos de paisajes, planicie aluvial, lomerío y piedemonte en el municipio de Tumaco, Nariño y establecer la relación entre la producción del cultivo de cacao con algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, según el tipo de paisaje en el municipio de Tumaco, Nariño.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Suelos

La planta de cacao se adapta a diversos tipos de suelos, inclusive puede producir en suelos con baja fertilidad, aunque la producción es limitada, se alcanzarán rendimientos aceptables, solo si se practica el cultivo con nombramiento suficiente para disminuir el efecto de los rigores climáticos, que debilitan e incluso ocasionan la muerte de las plantas. No obstante, el cultivo de cacao prefiere los suelos fértiles, francos, profundos, bien drenados, con buena retención de agua disponible y alto contenido de materia orgánica (MAG, 2001).

La selección de un suelo apropiado es fundamental para obtener cultivos de cacao de alta productividad. Si este no cumple los requisitos mínimos para el desarrollo adecuado de la planta, el cultivo no funcionará aunque se utilicen semillas de las mejores características

2.1.1 Textura

La textura del suelo es una propiedad de gran importancia para la agricultura. El cacao se adapta a una amplia diversidad de tipos de suelo, que varían desde arcillas pesadas muy erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas y limo, (Enríquez, 2004).

Amores *et. al.*, (2005) selecciona a los suelos aluviales, de textura franco-arcillosa, franco-limosa y franco-arenosa, suelto y profundo, que le permitan a la raíz principal penetrar de 80 a 150 centímetros, como las condiciones idóneas. Los suelos de color negrozco son generalmente los mejores ya que estos están menos lixiviados (Quiroz y Agama, 2006).

2.1.2 Densidad aparente

Las bajas densidades ($<1,2 \text{ g/ cm}^3$) son importantes porque indica la relación de macroporos, mesoporos y microporos y se observa que hay una relación más hacia los macroporos y mesoporos dando un mejor intercambio gaseoso N_2 , O_2 y CO_2 , importantes para el desarrollo radicular de las plantas (Castilla *et al.*, 2002).

2.1.3 Porosidad total

Vera *et al.*, (2000) en la caracterización físico-química de algunos suelos cacaoteros, encontró una porosidad total que fluctúa entre 36 y 45 %, favoreciendo así, la rápida infiltración del agua y una buena aireación para el adecuado desarrollo radical del cacao.

2.1.4 pH

Es una de las características más importantes de los suelos porque contribuye a regular la velocidad de descomposición de la materia orgánica, así como la disponibilidad de los elementos nutritivos. El cacao se desarrolla eficientemente

cuando el pH se encuentra en el rango de 5.0 a 6.5; permitiendo obtener buenos rendimientos. (Fernández, 2012).

2.1.5 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Esta propiedad, es la que define la cantidad de sitios disponibles para almacenar los cationes en el suelo. Los cationes que son sometidos a esta retención quedan protegidos contra los procesos que tratan de evacuarlos del suelo, como la lixiviación, evitando así que se pierdan nutrientes para las plantas (Gachetá, 2017).

2.1.6 Materia orgánica

El suelo debe tener materia orgánica, que incrementa la habilidad del suelo para retener nutrientes y disminuir la compactación, entre otros beneficios (Sánchez, 1981). La descomposición de la materia orgánica produce la liberación de N y S, como única abastecedora natural de ambos nutrientes, además de su importante contribución al P al suelo (Graetz, 2000).

2,2 Generalidades del cultivo de Cacao

Según Dostert et al (2011) el género *Theobroma* pertenece a la familia Malváceas, subfamilia *Bytherriorideae* esta comprende 22 especies, las cuales son árboles con ramificaciones y frutos indehisciente carnosos, conocidos como mazorcas y es la especie *Theobroma cacao* L. la que se usa en plantaciones para el comercio del

mercado mundial del cacao. El cacao, es un arbusto de dos a tres metros de altura, que crece en ambientes tropicales. Es un cultivo de tipo permanente, con un periodo de vida aproximado de 40 años (CORPOICA, 2005).

Tradicionalmente, se ha sostenido, que el punto de origen de la domesticación del cacao se encontraba en Mesoamérica entre México, Guatemala y Honduras, donde se utilizó hace 2000 años antes de Cristo. No obstante, nuevos estudios indican que por lo menos una variedad de cacao tiene su punto de origen en la alta Amazonía y que ha sido utilizada en la región por más de 5.000 años. (ANECACAO, 2015).

2.2,1 Requerimientos nutricionales para el cacao

“Los nutrientes en el suelo son de vital importancia para un normal desarrollo del cultivo, los principales nutrientes que debe tener el suelo para que prospere el cultivo de cacao son: Nitrógeno, fósforo, potasio y el calcio” (Quiroz y Agama, 2006). Por otra parte, López–Lefebvre *et al.* (2002) consideran que la disponibilidad, la absorción y la distribución de nutrientes esenciales en la planta, así como la absorción de estos están relacionados con su tasa de crecimiento y son los factores que ejercen mayor influencia sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Según Uribe *et al.*, 2009, el cacao es un cultivo poco exigente en nutrientes, por lo que para producir una tonelada de semilla comercial, la planta extrae alrededor de 30 Kg de N, 8 Kg P₂O₅, 40 Kg de K₂O, 13 Kg de CaO y 10 Kg de MgO; sin embargo, cabe destacar que este cultivo requiere de suelos de texturas medias, bien drenados y con

buena fertilidad para alcanzar altos rendimientos y buena calidad de la semilla (Barriga *et al.*, 2006).

2.3 Zonas agroecológicas relevantes en el cultivo de cacao

En Colombia, se cultiva cacao en cuatro regiones que presentan características agroecológicas distintas entre sí: 1) Zona de bosque húmedo tropical (BTH), 2) valles interandinos secos (VIS) 3) zona Andina o marginal baja cafetera (ZA) y 4) montaña santandereana (MS) (FEDECACAO, 2015).

El comportamiento del cacao por supuesto, es diferente en cada una de estas regiones y por tanto, su manejo requiere algunos ajustes para aprovechar las ventajas que se derivan de las condiciones particulares o para contrarrestar los efectos negativos generados por los factores desfavorable (FEDECACAO, 2015).

2.3.1 Tipos de paisaje

La topografía es otro elemento importante para el establecimiento de plantaciones de cacao, ya que una topografía accidentada impide la mecanización y la aplicación de técnicas modernas, además que estas zonas están sujetas a la erosión constante por efecto de las lluvias lo cual constituye un problema muy serio que ocasiona la pérdida de la capa arable del suelo (Figuroa, 2012). Con la finalidad de evitar que esto ocurra se deben realizar prácticas de conservación de suelos, como barreras vivas, barreras muertas, siembra a curvas a nivel, coberturas vegetales, entre otros (Mendis, 2003).

2.3.1.1 Planicie aluvial

Comprenden áreas extensas caracterizadas por una topografía plana y baja en elevación con el nivel de base. Este paisaje se formó como una planicie litoral a partir de material volcánico transportado por los ríos y el mar (IGAC, 1961).

Se pueden encontrar estas formaciones: vegas, basines o bateas (guandales) y terrazas. Los suelos de vega se forman en inmediaciones de los ríos cuando su nivel sube y las arenas en suspensión se decantan en sus orillas elevando el nivel de las riberas. Esto da origen a perfiles de suelos con predominio de materiales gruesos en profundidad y materiales más finos en los horizontes superficiales (IGAC, 1960).

Por otra parte, los basines o bateas (guandales) se forman en áreas bajas que han permanecido inundadas por largos periodos de tiempo, formando pantanos y favoreciendo la proliferación de vegetación. Con el tiempo, estas plantas han liberado cantidades significativas de materiales orgánicos en el agua y conforman la turba característica de estas áreas (IGAC, 1960). Las Terrazas, ocupan posiciones más altas que los planos de inundación y están limitadas regularmente por un reborde abrupto o talud de terraza con diferencia de algunos metros, lo cual las hace menos susceptibles a las inundaciones, pero no exentas de encharcamientos por lluvias (Rincón, *et al.*, 2016). El relieve de la terraza es plano a ligeramente ondulado en algunas zonas. Este paisaje se

formó como una planicie litoral a partir de material volcánico transportado por los ríos y el mar (IGAC, 1961).

2.3.1.2 Piedemonte

Por otra parte, los piedemontes se encuentran en una zona extensa de donde salen las lomas descritas anteriormente. Son áreas de transición entre las zonas accidentadas y las zonas bajas. Presentan suelos desarrollados a partir de arcillas marinas e influencia volcánica, formadas en el mar y, posteriormente, levantadas y erosionadas (IGAC, 1961). En este paisaje se distinguen dos tipos de relieve: abanicos disectados y abanicos poco disectados. En los primeros, las laderas son fuertemente onduladas, con disección abrupta del terreno y pendientes que varían entre 7 y 12 %. Los segundos, por su parte, presentan laderas ligeramente inclinadas a casi planas en algunos sectores, con pendientes entre 3 y 7 %.

2.3.1.3 Lomerío

Los lomeríos corresponden a un conjunto de lomas alargadas con cimas, laderas y vallecitos. Estos suelos se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias constituidas por arcillolitas y limolitas (IGAC, 1961). El relieve en lomas y colinas es fuertemente ondulado y quebrado, aunque también se incluyen áreas menos escarpadas. Las pendientes predominantes se encuentran en rangos de 12 a 25 %, aunque en menor proporción pueden llegar a rangos entre 35 y 50 % (IGAC, 1961).

2.4 Estudios de caso

2.4. 1 Suelos por tipo de paisaje asociados al cultivo de la palma de aceite en la zona suroccidental de Colombia, Rincón *et al.*, 2016 reportó que: en inmediaciones del municipio de Tumaco, Nariño, se identificaron unos paisajes condiciones de bosque húmedo y muy húmedo tropical, en cada uno de los paisajes identificados se hizo la identificación de los suelos mediante cajuelas, que fueron corroborados con barrenadas de comprobación distribuidas por mapeo libre. Una vez identificados los suelos predominantes en cada paisaje, se realizó su des creación detallada en calicatas de 1,2 m de ancho por 1,5 m de largo y 1,5 m de profundidad. La descreación y caracterización del perfil.

Se evaluaron: propiedades físicas y químicas en cada horizonte para lo cual se tomaron muestras sin disturbar y se extrajeron los monolitos correspondientes.

Los resultados fueron:

En el paisaje ,Abanico poco disectado (piedemonte) corresponden principalmente a inceptisoles, en cuyo proceso de formación se ha presentado una constante influencia volcánica debido a su cercanía con la cordillera.Producto de esta influencia, estos suelos presen- tan menores valores de densidad aparente que los anteriormente descritos (0,6 a 1 g/cm³); también comparten algunas características como el predominio de texturas francas a franco arcillosas, buena estructuración, alta porosidad (>60 %) y buen drenaje natural en un perfil moderadamente profundo a muy profundo. Presentan altas saturaciones de aluminio (>60 %) que se incrementan en profundidad y hacen que el P disponible se encuentre en niveles bajos (<2,5 mg/kg). Todo lo anterior deriva en bajos niveles de

fertilidad natural para la palma que pueden ser restrictivos para el cultivo, si no se toman las medidas adecuadas para remediarlos.

2.4. 2 Génesis y evolución de los suelos del valle del Sibundoy – Colombia

Medina *et al.*, 2016 afirma que: en el valle de Sibundoy se realizó la descripción de 402 cajuelas (observaciones de identificación); con el muestreo de las cajuelas se identificó la distribución de los suelos y, de esta manera, se localizaron los perfiles modales para la elaboración de las calicatas; en total fueron caracterizados 71 perfiles. se procesaron y analizaron 868 muestras en el Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC.

Los resultados fueron:

Que en el terreno En el plano de la terraza nivel 3 se encuentran suelos minerales, principalmente de los órdenes Inceptisol y Entisol, saturados con agua en todas las capas; estos suelos son consecuencia de las depresiones en el relieve; igualmente, el relieve controla la humedad (en las zonas bajas y de presionales se almacena mayor cantidad de agua que en zonas de alta pendiente), determina los procesos pedogenéticos (drenaje interno, oxidación y reducción), define la profundidad del suelo (a mayor pendiente menor espesor del suelo) y regula condiciones de microclima (varía de acuerdo con la posición: ladera, valles, piedemontes).

III.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El estudio se realizó en el Municipio de Tumaco, departamento de Nariño, localizado a 1°49´ de latitud norte y a 79°46´ de longitud oeste del meridiano de Greenwich, al sur occidente de Colombia, con una temperatura promedio de 26°C, humedad relativa de 87%, precipitación que oscila entre 2.800 a los 3.500 mm anuales, con una altura de 0 hasta los 150 msnm (Alcaldía Municipal de Tumaco, 2005) (Figura 1).

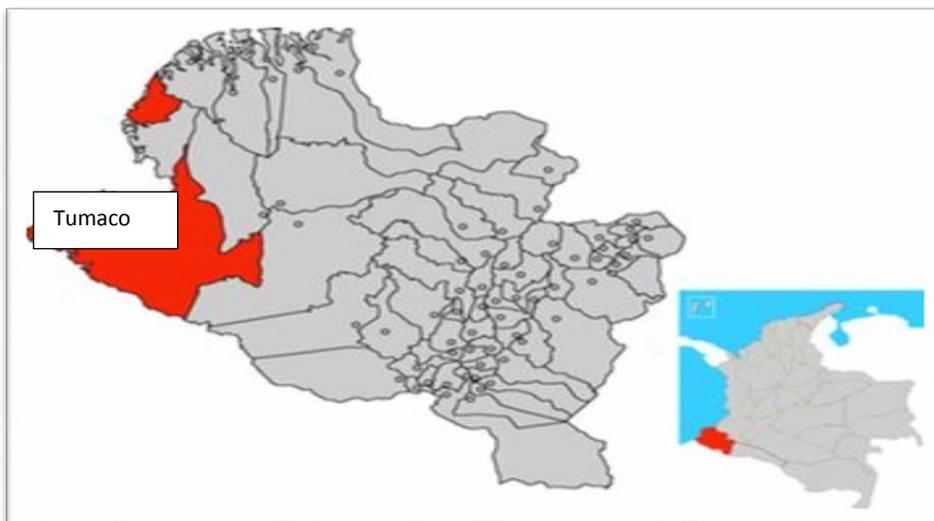


Figura 1. Mapa de Tumaco en Nariño. Fuente: <http://ccai-colombia.org/2011/06/09> en- la-convulsionada-tumaco-pocos-avances-2.

3.2 Determinación de la zona de estudio

Se realizó una revisión de información secundaria, a través de base de datos de entidades, principalmente como como Naciones Unidas, y FEDECACAO, en el año 2009-2010 a nivel local, establecieron y/o realizaron actividades en núcleos productivos de cacao; también se georreferenciaron otros sistemas productivos (cacao) en el municipio de Tumaco, para la selección de fincas representativas; los puntos se plasmaron en un mapa digital con los diferentes tipos de paisaje en el municipio de Tumaco (Figura 2).

3.2.1 Clasificación y selección de fincas

En las zonas definidas, para determinar esas fincas representativas a muestrear, se realizaron 30 encuestas (Anexo A) a productores donde se determinaron criterios de selección, como tamaño de la unidad productiva (1 ha); sistema de producción (cultivo de cacao en buenas condiciones fitosanitarias, con presencia de algunos frutales y árboles forestales autóctonos de la zona, como el cedro), edad del cultivo (6 - 8 años); distancia de siembra, 3,5 x 3,5 (816 árboles de cacao), material injertado con clones universales (ICS95), principalmente, y en el manejo del cultivo (no fertilización). Con los criterios establecidos se seleccionaron por cada tipo de paisaje cuatro fincas, en total se seleccionaron 12 fincas de productores de cacao en el municipio de Tumaco.

Las fincas seleccionadas se ubicaron en la vereda de Las Mercedes (Consejo Comunitario Unión del Río Chagui), Pambil (Consejo Comunitario Recuerdo de Nuestros Ancestros Río Mejicano), Vereda Tablón Dulce (Consejo Comunitario Río Tablón Dulce), Pulgande (Consejo Comunitario La Nupa) y zona de carretera Km 28 y Pindales (Anexo B).

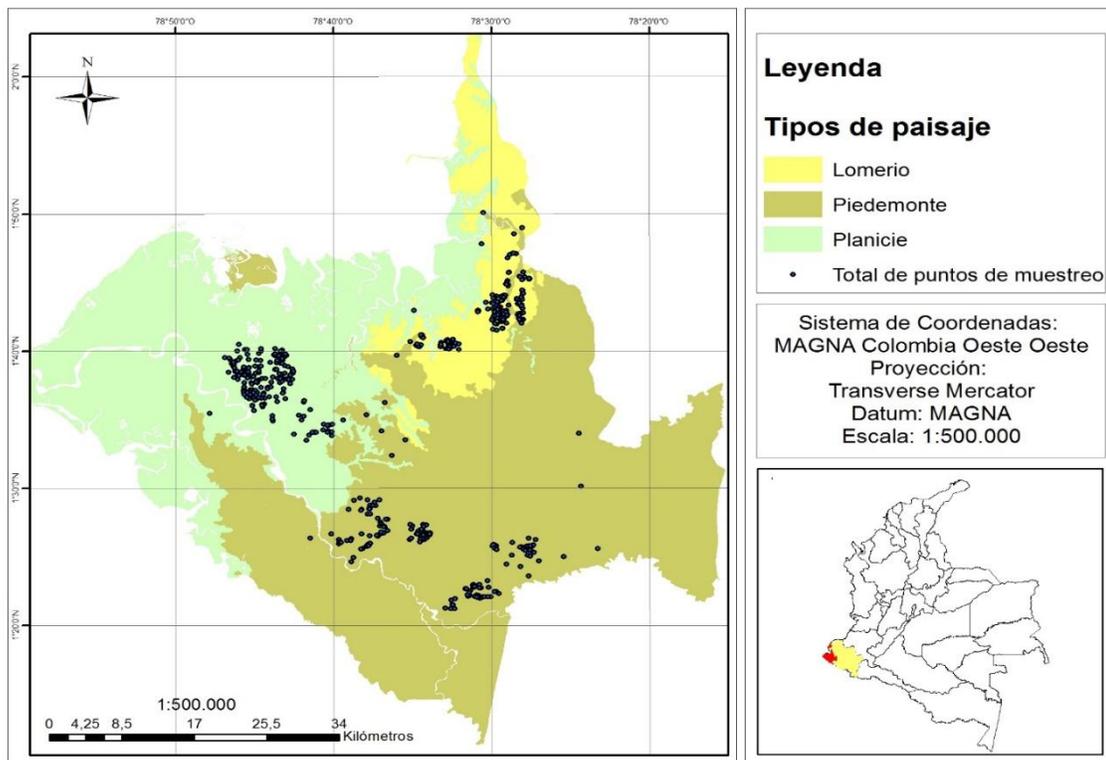


Figura No. 2. Ubicación de fincas georreferenciadas con base de datos suministradas, en los diferentes tipos de paisaje de San Andrés de Tumaco, 2017-2018. Fuente: Esta investigación.

3.3 Diseño experimental

En el ensayo de campo se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar, en donde los bloques fueron los tipos de paisajes y los tratamientos, las 4 fincas seleccionadas

en cada paisaje.

3.4 Muestreo de suelos

En cada una de las zonas seleccionadas, se georeferenciaron los puntos de muestreo (Anexo C) con GPS (Sistema de Posicionamiento Global) de marca GARMIN y se ubicaron en un mapa digital del municipio de los diferentes tipos de paisaje (Figura 3).

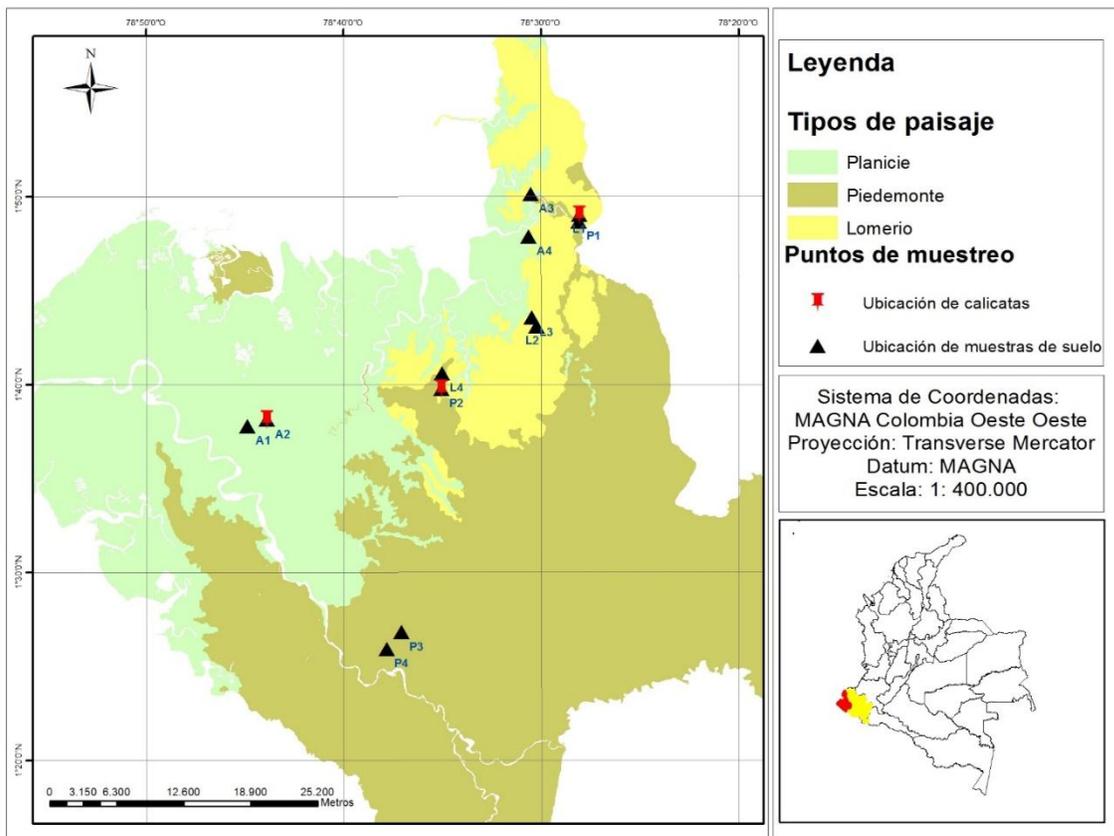


Figura No. 3. Ubicación de puntos de muestreo de suelo en las fincas seleccionadas de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.. Fuente: Esta investigación.

Seleccionadas las fincas en los diferentes tipos de paisaje, se realizó la respectiva toma de muestras a los suelos, de forma aleatoria para lo cual se

hizo un recorrido sobre el terreno en forma de zig-zag recolectando submuestras en cada vértice donde cambiara de dirección durante el recorrido. Para las fincas (piedemonte y lomerío) se realizaron cuatro muestreos (2 arriba y 2 abajo); para planicie aluvial (2 muestras) porque el terreno era más homogéneo; para realizar la toma de la muestra hizo uso de un pala, a profundidades (0-10 y 10-25 cms) (Wood, 1982), se tomaron 16 submuestras en cada finca (1 ha) , las cuales se depositaron a un balde plástico (desinfectado con hipoclorito al 3%) donde se homogenizaron para sacar la muestra de 1 kilogramo, la cual se empacó en una bolsa plástica autosellado y se identificó con algunas especificaciones como: nombre del propietario y del lote, vereda, municipio, departamento, profundidad a la cual fue tomada, fecha de muestreo y uso del suelo (Agrocabildo, 2014).

Adicional, se realizó una calicata en cada tipo de paisaje (para identificar el orden del suelo), se delimitó el terreno con dimensiones de 1.0m x 1.0 m para determinar los horizontes, midiendo la altura y marcando cada horizonte con respecto a la superficie; se procedió a tomar muestras de cada horizonte, y así hacer una inspección directa del suelo en estudio; es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa (Julk, 2013). Se tomaron en total 46 muestras, incluyendo las de calicatas (6 muestras, 1 por cada perfil).

3.5 Variables a evaluar

3.5.1 Propiedades físicas y químicas

Se analizaron las propiedades físicas textura, estabilidad de agregados (DPM) en seco y húmedo, densidad real, densidad aparente y porosidad total. Las variables químicas MO, pH, CIC, P, K, Ca, Mg, Al y elementos menores Zn, S, B, Cu, Mn y Fe. Las variables se analizaron, de acuerdo con los procedimientos definidos en el Laboratorio de Física de suelos y por el Manual de Métodos Químicos para el análisis de suelos (Unigarro *et al.*, 2009). En la Tabla 4, se resumen, las variables evaluadas y técnicas utilizadas.

Tabla 1. Variables y técnicas utilizadas para las propiedades físicas y químicas del suelo (laboratorios especializados, Universidad de Nariño, 2018).

| Variables | Metodologías | Referencia |
|------------------------------------|---|------------|
| Físicas | | |
| Densidad aparente | Probeta | IGAC, 2006 |
| Densidad real | Picnómetro | IGAC, 2006 |
| Textura | Hidrometro Bouyoucos | IGAC, 2006 |
| Estabilidad de agregados en seco | Yoder | IGAC, 2006 |
| Estabilidad de agregados en húmedo | Shacker | IGAC, 2006 |
| Porosidad total | $1 - D_a/D_r$ * 100 | IGAC, 2006 |
| Químicas | | |
| Materia orgánica | Wakley-Black – Colorimetría | IGAC, 2006 |
| P | Bray Kurtz colorimétrico | IGAC, 2006 |
| K, Ca, Mg | Acetato de amonio 1N, pH 7. Absorción atómica | IGAC, 2006 |
| pH | Potenciómetro relación suelo agua 1:1 | IGAC, 2006 |
| Capacidad de Intercambio Catiónico | Acetato de amonio 1N, pH 7. Volumétrico | IGAC, 2006 |

3.5.2 Índice de mazorca

En cada una de las 12 fincas se establecieron unidades experimentales dentro de cada una de ellas (20 x 20 m), en cada unidad se evaluaron 20 árboles de cacao, seleccionados y numerados del clon ICS95, a los cuales se le hizo un registro mensual de producción (octubre/2017-marzo/2018) de forma individual y grado de tolerancia a enfermedades (Monilla, Phythophthora, escoba de bruja y daño por animal) (FEDECACAO, 2015b) (Anexo D). Posteriormente, se realizó el índice de mazorca, número de mazorcas necesarias para completar un kilogramo de cacao fermentado y seco; se recolectaron al azar 20 mazorcas fisiológicamente maduras sin síntomas de enfermedades de los 20 árboles de ICS 95 (FEDECACAO, 2004), teniendo en cuenta el siguiente procedimiento..

Número de granos por mazorca, se extrajeron las almendras de la mazorca en forma manual, separándolas de la placenta, antes de proceder a su conteo y pesaje en húmedo, luego, se procedió a fermentar y secar las mismas (FEDECACAO, 2004).

3.5.3 Índice de grano

Se tomaron muestras de almendras de 20 mazorcas del clon ICS95, las cuales fueron sometidas al proceso de fermentación durante 8 días, se secaron al sol con el fin de realizar un secado natural hasta obtener un 7% de humedad, se determinó el índice de grano (IPGRI,2000) este índice correspondió al peso promedio de una almendra seca y se obtuvo a partir del pesaje de una muestra de 100 granos del material seleccionado, utilizando una balanza de precisión. según la norma, el peso mínimo en grano apto para la industria debe ser de 1g (ICONTEC,2003).

3.5.4 Producción

Se determinó con los frutos sanos registrados en los cinco ciclos de cosecha, teniendo en cuenta el índice de mazorca, se realizó una regla de tres, se multiplico la producción promedia por árbol por el número total de árboles. La producción fue expresada en kilogramos por árbol.

3.6 Análisis estadístico.

A Los resultados, se les realizó una evaluación estadística mediante análisis de varianza (ANAVA), cuando se presentaron diferencias estadísticas se hizo la Comparación de Medias de Tukey ($P \leq 0,05$).

Análisis de componentes principales: para determinar las correlaciones entre las variables físicas y químicas del suelo, y tipos de paisaje (indicadores de mayor peso) y posterior análisis de cluster aglomerativo ligado al método de Ward y dendrograma, igualmente se hizo un Análisis de Correlación Múltiple de Pearson (Weisstein, 2011), con el fin de determinar el grado de correlación de las variables físico-químicas y producción. Todos los datos numéricos fueron analizados en el programa estadístico R (The R Project for Statistical Computing)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de orden de suelos

Con relación, al análisis de las calicatas, en la Planicie aluvial, estos suelos se caracterizan por pertenecer al orden entisol (Tabla 2), que son referenciados como suelos con poca o no evidencia de horizontes pedogenéticos (IGAC, 1995) que no han tenido tiempo biológico para formarse, suelos de muy baja evolución por el poco tiempo en que llevan o porque están en lugares donde se dificulta su desarrollo (áreas muy escarpadas y sectores inundados”, como la zona de estudio (IGAC, 2014). Generalmente presentan una coloración oscura (10YR 6/1) en la superficie debido a su contenido de materia orgánica, al profundizar son grises evidenciando problemas de drenaje (Rincón, *et al.*, 2016). Se presenta acumulación de sulfuros Fe, en especial pirita y marcasita, que inducen condiciones limitantes para el cultivo (IGAC, 1995).

Los suelos de Colombia son diversos y frágiles, cuenta con 11 de los 12 órdenes de suelos existentes en el mundo a excepción de los gelisoles. Se destacan los suelos incipientes, poco evolucionados con un 58.11 % correspondientes a los órdenes entisoles e inceptisoles (IGAC, 2012).

Tabla 2. Clasificación de orden de los suelos, con relación a las calicatas realizadas en los diferentes tipos de paisaje, de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

| Tipo paisaje | No. Perfil | Profundidad (cms) | Clasificación Taxonómica (Soil Survey Staff 1999) | Características generales (IGAC, 1995) | Fertilidad general (IGAC, 1995) |
|------------------------------------|------------|-------------------|---|---|---|
| CALICATA (Piedemonte) | 1 | 0-33 | INCEPTISOL | Evolución baja y media. | pH y fertilidad variables, dependiendo de la zona. |
| CALICATA (Piedemonte) | 2 | 33-100 | NCEPTISOL | | |
| CALICATA (Lomerío) | 1 | 0-33 | INCEPTISOL | Presencia de minerales primarios, arcillas mezcladas. Contenidos variables de M.O. | baja en sedimentos antiguos y lavados sobre los cuales evoluciona el suelo. M.O variable. |
| CALICATA (Planicie Aluvial) | 1 | 0-57 | ENTISOL | Muy baja evolución. | Variable, de acuerdo con las zonas, como lo anterior. |
| CALICATA (Planicie Aluvial) | 2 | 57-68 | ENTISOL | | |
| CALICATA (Planicie Aluvial) | 3 | 68-100 | ENTISOL | | |

Fuente: Esta investigación.

Este suelo del orden Entisol, presenta una textura modernamente fina (franco) a más finas (franco arcilloso), con capacidad de retención de humedad alta, permitiendo poca percolación del agua en época de sequía (Tabla 2).

Tabla 3. Propiedades físicas de orden de los suelos, con relación a las calicatas realizadas en los diferentes tipos de paisaje de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

| Tipo de paisaje | Suelo (orden) | Perfil | Profundidad (cms) | Textura | % A | % Ar | % L | Da (g/cm ³) | Dr (g/cm ³) | PT(%) | Estab. seco | Estab. húmedo |
|------------------|---------------|--------|-------------------|---------|-------|-------|-------|-------------------------|-------------------------|-------|-------------|---------------|
| Planicie Aluvial | Entisol | 1 | 0-57 | F | 34,27 | 22,63 | 43,10 | 0,95 | 2,28 | 58,40 | 2,44 | 1,52 |
| | | 2 | 57-68 | F Ar | 33,50 | 34,22 | 32,28 | 0,89 | 2,48 | 64,28 | 2,61 | 1,21 |
| | | 3 | 68-100 | F Ar | 40,55 | 32,04 | 27,41 | 0,87 | 2,41 | 63,96 | 2,42 | 1,21 |
| Piedemonte | Inceptisol | 1 | 0-33 | Ar | 26,76 | 54,08 | 19,16 | 1,03 | 2,34 | 56,19 | 4,56 | 2,31 |
| | | 2 | 33-100 | Ar | 18,17 | 65,73 | 16,10 | 0,87 | 2,43 | 64,25 | 4,34 | 2,38 |
| Lomerío | Inceptisol | 1 | 0-33 | FrAr-A | 61,64 | 28,97 | 9,39 | 0,82 | 2,34 | 65,00 | 5,77 | 1,82 |

A: Arena; Ar: Arcilla; L: Limo; Da: Densidad aparente; Dr: Densidad real; PT: Porosidad total Da: Densidad aparente; Dr: Densidad real; PT: Porosidad total. Fuente: Esta investigación.

Este orden, se puede clasificar como suborden Fluvanquents, Subgrupo Aerico y familia (de acuerdo a la textura, franco fina (muy fina) (SSS, 1999).

La densidad aparente fluctúa entre 0,87 g/ cm³ y 0,95 g/ cm³. Al igual que la porosidad total (> 50%) del suelo se consideran dentro de los rangos normales para el desarrollo del cultivo (Tabla 3).

Las propiedades químicas más sobresalientes son el alto contenido de cationes de cambio, pH entre 6,5 y 6,9 el cual es más adecuado, no tiene problemas de acidez o aluminio tóxico para el cultivo. Estos suelos, tiene bajos contenidos de materia orgánica baja (< 0,4%) y fósforo (< 20 mg/kg), fertilidad media- baja para el cultivo de cacao. Puede considerarse como limitante el desbalance de bases, las saturaciones promedio de calcio son altas (7,5 Cmol + kg⁻¹) y el Mg (4,1 Cmol + kg⁻¹) , en comparación con el potasio menor a 0,2 Cmol + kg⁻¹ (Tabla 4).

A diferencia de este resultado, en estudio en cacao realizado por Puentes *et al.*, (2014a),, el análisis químico demostró que el suelo presentaba buenas condiciones para el desarrollo del cultivo poseía un pH adecuado (6.4), un alto contenido de materia orgánica (7.4%) y contenidos medios normales de Potasio (0.26 Cmol + kg⁻¹), Fósforo (8.6 mg kg⁻¹) y CEC (19.35 Cmol + kg⁻¹). Hubo buenas proporciones de Ca / Mg y K / Mg y una alta concentración de elementos menores.

En relación a los suelos de **piedemonte y lomerío**, son del orden Inceptisol (Tabla 2), presentan como característica importante que son “suelos de evolución baja, ubicados en zonas más o menos estables a través del tiempo, con algún grado de desarrollo, fertilidad variable, desde alta en las zonas de influencia de los ríos, hasta baja en las zonas montañosas y muy húmedas”, como el área de estudio (IGAC, 2014). Presentan coloración 10YR 6/3 pardo a rojizo.

Se presentan textura desde arcillosa (piedemonte) a franco arcillosa- arenosa (lomerío), son suelos naturalmente bien drenados, con densidades aparentes

de $0,82 \text{ g/ cm}^3$ y porosidad total superiores al 60 % que favorecen la infiltración y el movimiento del agua en el perfil. No presentan compactación (Rincòn *et al.*, 2016) (Tabla 3).

El suelo de piedemonte corresponde al Suborden Udepts, Gran grupo Dystrudepts, Subgrupo Andic (SSS, 1999) .

En piedemonte, se destaca en sus propiedades químicas, que son suelos extremadamente ácidos (pH entre 4,9 y 5,1). Sin embargo, el cacao también se adapta a rangos extremos desde los muy ácidos hasta los muy alcalinos cuyos valores oscilan de pH 4.5 hasta el pH de 8.5, donde la producción es decadente o muy deficiente, en estos suelos se debe aplicar correctivos. (Tabla 4).

De las tierras cultivables del mundo, el 40 % son suelos ácidos con pH menor a 5,5 (Đalović *et al.*, 2012), los cuales se localizan particularmente en las regiones de clima tropical.

En lomerío mayor presencia de Aluminio ($> 8 \text{ Cmol + kg}^{-1}$), alto contenido de Ca ($>7 \text{ Cmol + kg}^{-1}$) y Mg ($> 4 \text{ Cmol + kg}^{-1}$) y alta capacidad de intercambio catiónica ($<37,7 \text{ Cmol + kg}^{-1}$) ofrece una adecuada oferta edáfica para el desarrollo del cultivo de cacao (Tabla 4). En lomerío se identificó un solo perfil hasta los 33 cms, el resto presenta plintita (peña lisa), lo cual pueden restringir la profundidad efectiva para el sistema radical . La presencia de obstrucciones

físicas como capas endurecidas o un nivel freático alto limitan grandemente el crecimiento de las raíces (INIAP, 2009c).

El suelo de lomerío corresponde al Suborden Udepts, Gran grupo Dystrudents, Sub Grupo Oxic (SSS, 1999).

Tabla 4 . Propiedades químicas del orden de los suelos, con relación a las calicatas realizadas en los diferentes tipos de paisaje de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

| Tipo de paisaje | Suelo (orden) | Perfil | Profundidad (cms) | pH | MO % | CIC (cmol +/-Kg) | K(cmol +/-Kg) | Ca(cmol +/-Kg) | Mg(cmol +/-Kg) | Al(cmol +/-Kg) | P mg/Kg | Fe mg/Kg | Mn mg/Kg | Cu mg/Kg | Zn mg/Kg | B | N Total % | C % | S mg/Kg |
|------------------|---------------|--------|-------------------|------|------|------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------|----------|----------|----------|----------|------|-----------|------|---------|
| Planicie Aluvial | Entisol | 1 | 0-57 | 6,79 | 0,32 | 11,6 | 0,09 | 5,31 | 2,65 | 0 | 3,84 | 29,7 | 5,74 | 1,05 | 0,36 | 0,14 | 0,07 | 0,19 | 3,33 |
| | | 2 | 57-68 | 6,58 | 0,36 | 20,2 | 0,13 | 9,05 | 4,94 | 0 | 8,29 | 25,5 | 7,18 | 6,35 | 1,52 | 0,14 | 0,07 | 0,21 | 2,08 |
| | | 3 | 68-100 | 6,92 | 0,15 | 17 | 0,12 | 8,34 | 4,99 | 0 | 15 | 12,7 | 13,5 | 1,31 | 0,53 | 0,14 | 0,07 | 0,09 | 2,85 |
| Piedemonte | Inceptisol | 1 | 0-33 | 5,19 | 1,41 | 14,80 | 0,08 | 2,02 | 0,47 | 0,67 | 0,83 | 26,4 | 3,85 | 1,05 | 0,23 | 0,14 | 0,07 | 0,82 | 15,7 |
| | | 2 | 33-100 | 4,98 | 0,78 | 19,8 | 0,02 | 0,9 | 0,48 | 2,07 | 2,26 | 1,36 | 0,11 | 0,12 | 0,01 | 0,14 | 0,07 | 0,45 | 25 |
| Lomerío | Inceptisol | 1 | 0-33 | 5 | 2,02 | 37,7 | 0,11 | 7,1 | 4,44 | 8,62 | 2,66 | 7,29 | 6,96 | 0,09 | 0,01 | 0,14 | 0,07 | 1,17 | 0,98 |

Fuente: Esta investigación.

Estudio realizado por Medina (2017), encontró en el valle de Sibundoy, suelos minerales en el plano de terraza nivel 3, principalmente de los órdenes Inceptisol y Entisol, saturados con agua en todas las capas; estos suelos son consecuencia de las depresiones en el relieve, pobres a imperfectamente drenados.

Rincón *et al.*, 2016, reportó datos similares, en la zona suroccidental de Colombia, suelos del orden entisol en el tipo de paisaje planicie aluvial e inceptisol en piedemonte y lomerío, clasificándolos taxònicamente, Aeric Fluvaquents, Andic Dystrudepts y Oxic Dystrudepts, respectivamente.

4.2 Análisis de Varianza

4.2.1 Propiedades físicas y químicas por profundidad del suelo

La prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 5) para profundidad, indica que los mayores contenidos de cobre (Cu), hierro (Fe) y boro (B) se presentaron de 0-10 cm, esto puede ser debido a la humedad a que es sometido el suelo por las altas precipitaciones en la región.

Según Zapata (2006) en condiciones reductoras por efecto de la humedad, el hierro se moviliza como Fe^{+2} , siendo bastante móvil, sufriendo una redistribución en el perfil; malas condiciones de drenaje impiden su total eliminación, acumulándose compuestos ferrosos.

Tabla 5. Estadística descriptiva numérica (Media \pm desviación estándar), análisis de varianza y comparación de medias de Tukey de las variables químicas de suelos por profundidad (0-10 cms y 10-25 cms) por tipo de paisajes de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

| Variables | Profundidad | | |
|-----------------|----------------------|---------------------|-----------|
| | 0-10 cms | 10-25 cms | ANAVA |
| pH | 4.999 \pm 0.341 | 5.005 \pm 0.331 | 0.346 NS |
| MO | 4.470 \pm 2.435 | 3.291 \pm 2.658 | 0.152 NS |
| C | 2.433 \pm 1.499 | 1.911 \pm 1.546 | 0.285 NS |
| N Total | 0.169 \pm 0.085 | 0.125 \pm 0.090 | 0.124 NS |
| P | 4.009 \pm 2.263 | 3.184 \pm 1.962 | 0.226 NS |
| CIC | 24.40 \pm 8.131 | 24.17 \pm 8.106 | 0.93 NS |
| K | 0.175 \pm 0.110 | 0.162 \pm 0.091 | 0.687 NS |
| Ca | 6.462 \pm 4.508 | 5.951 \pm 4.392 | 0.719 NS |
| Mg | 3.225 \pm 2.485 | 3.329 \pm 2.803 | 0.901 NS |
| Cu | 1.784 \pm 0.990a | 1.174 \pm 0.808b | 0.0393 * |
| Fe | 83.725 \pm 39.459a | 55.22 \pm 36.829b | 0.0234 * |
| B | 0.156 \pm 0.035a | 0.140 \pm 0.00b | 0.0479 * |
| Mn | 35.56 \pm 26.535 | 21.58 \pm 18.502 | 0.0607 NS |
| Al | 1.690 \pm 2.465 | 1.714 \pm 2.555 | 0.976 NS |
| Zn | 0.986 \pm 1.307 | 0.769 \pm 0.999 | 0.559 NS |
| S | 5.928 \pm 2.853 | 7.184 \pm 5.735 | 0.386 NS |
| Da | 0.8758 \pm 0.091 | 0.8785 \pm 0.0840 | 0.922 NS |
| Dr | 2.486 \pm 0.2840 | 2.6545 \pm 0.2969 | 0.0749 NS |
| DPM.en.seco | 5.1400 \pm 0.7868 | 5.2295 \pm 0.8448 | 0.731 NS |
| DPM.en.húmedo | 2.6435 \pm 0.3068 | 2.5625 \pm 0.5018 | 0.542 NS |
| Porosidad Total | 64.170 \pm 6.8917 | 66.449 \pm 5.3897 | 0.251 NS |

** : Alta significancia estadística al 5% de probabilidad. NS: No significancia estadística. Fuente: Esta investigación.

4.2.2 Propiedades físicas y químicas por paisaje

El análisis de varianza, mostró que no existen diferencias significativas entre los tres tipos de paisaje en las variables físicas, densidad aparente, densidad real, porosidad total, distribución de agregados del suelo en seco, distribución de agregados del suelo en húmedo por profundidad ni por tipo de paisaje (Tabla 6).

Con respecto a las propiedades químicas, se presentaron diferencias estadísticas e significativas en las variables materia orgánica, carbono, nitrógeno total, fósforo, hierro, zinc y azufre en el paisaje planicie aluvial (entisol) (Tabla 6). Se relacionan a continuación:

Tabla 6. Estadística descriptiva numérica (Media \pm desviación estándar), análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) de las variables físicas y químicas de suelos por tipo de paisajes de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

| Variables | Tipos de paisajes | | | ANAVA |
|-----------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------|
| | Paisaje 1 | Paisaje 2 | Paisaje 3 | |
| pH | 5.072 \pm 0.530 | 4.907 \pm 0.224 | 5.061 \pm 0.298 | 0.346 NS |
| MO | 6.632 \pm 4.681a | 3.332 \pm 1.11b | 3.053 \pm 0.907b | 0.00165 ** |
| C | 3.448 \pm 3.020a | 1.935 \pm 0.649b | 1.770 \pm 0.526b | 0.0245 * |
| N Total | 0.242 \pm 0.159a | 0.129 \pm 0.041b | 0.116 \pm 0.035b | 0.00166 ** |
| P | 5.645 \pm 2.651a | 3.476 \pm 2.036b | 2.691 \pm 1.126b | 0.00341 ** |
| CIC | 27.73 \pm 9.700 | 21.15 \pm 6.265 | 25.70 \pm 8.053 | 0.107 NS |
| K | 0.187 \pm 0.053 | 0.131 \pm 0.049 | 0.195 \pm 0.140 | 0.166 NS |
| Ca | 6.298 \pm 3.439 | 5.201 \pm 4.716 | 7.165 \pm 4.531 | 0.462 NS |
| Mg | 3.557 \pm 2.482 | 2.326 \pm 2.685 | 4.088 \pm 2.448 | 0.155 NS |
| Cu | 1.345 \pm 1.184 | 1.585 \pm 0.898 | 1.440 \pm 0.914 | 0.83 NS |
| Fe | 105.87 \pm 59.93a | 65.85 \pm 27.56b | 54.89 \pm 29.12b | 0.0092 ** |
| B | 0.145 \pm 0.010 | 0.141 \pm 0.005 | 0.156 \pm 0.038 | 0.245 NS |
| Mn | 29.74 \pm 25.96 | 26.35 \pm 23.77 | 30.20 \pm 23.81 | 0.893 NS |
| Al | 1.853 \pm 2.065 | 0.956 \pm 0.792 | 2.371 \pm 3.50 | 0.272 NS |
| Zn | 1.951 \pm 2.001a | 0.534 \pm 0.526b | 0.685 \pm 0.731b | 0.0089 ** |
| S | 10.60 \pm 8.299a | 6.538 \pm 2.362ab | 4.560 \pm 1.50b | 0.00539 ** |
| Da | 0.919 \pm 0.104 | 0.862 \pm 0.106 | 0.870 \pm 0.042 | 0.298 NS |
| Dr | 2.532 \pm 0.156 | 2.535 \pm 0.329 | 2.624 \pm 0.327 | 0.661 NS |
| DPM.en.seco | 5.003 \pm 1.406 | 5.029 \pm 0.643 | 5.430 \pm 0.498 | 0.297 NS |
| DPM.en.húmedo | 2.746 \pm 0.222 | 2.699 \pm 0.438 | 2.435 \pm 0.419 | 0.104 NS |
| Porosidad Total | 63.61 \pm 4.047 | 65.15 \pm 8.153 | 66.31 \pm 4.865 | 0.613 NS |

Paisaje 1 (planicie aluvial); Paisaje 2 (piedemonte); Paisaje 3 (lomerío). Fuente: Esta investigación.

** : Alta significancia estadística al 5% de probabilidad. * : Significativo. NS : No significativo.

➤ Materia Orgánica

Con relación a la prueba de la Prueba de Comparación de Medias de Tukey (Tabla 6), el mayor rango del valor promedio en el paisaje planicie aluvial (entisol) con un valor de 6,53%, presenta diferencias estadísticas altamente significativas con piedemonte y lomerío (inceptisol) con valores promedios de 3,32% y 3,05%, respectivamente.

En general en los tres paisajes se presentan valores bajos de contenido de materia orgánica, lo cual puede ser producto de la alta precipitación en la región, Según Méndez (2003), demuestran que el impactó de las gotas de lluvia arrastran

los nutrientes del suelo y baja la producción de pastos, reduciendo el contenido de materia orgánica lo cual ocasiona una baja fertilidad del mismo.

Cardona y Sadeghian (2005), encontraron que el contenido de MO fue superior en suelos de cafetales que contaban con la presencia de árboles de sombrío, en relación al manejo de monocultivo de café y en éste caso, el establecimiento de los árboles, mejoró las condiciones del terreno y propició un ambiente más favorable. Similar a esto De las Salas (1987), afirma que en los ecosistemas boscosos naturales, los contenidos de materia orgánica, tienden a ser altos, de acuerdo a una dinámica interna de ciclo cerrado por lo que reduce pérdidas significativas de MO, en el sistema, a diferencia de sistemas productivos intensivos convencionales, que responden a una mayor tasa de mineralización por efecto de manejo.

➤ **Carbono**

Según la Prueba de Comparación de Medias (Tabla 6), mostró el mayor rango del valor promedio en planicie aluvial, con un valor de 3,44%, presenta diferencias estadísticas significativas con piedemonte y lomerío, con valores promedios de 1,93% y 1,77%, respectivamente.

Según, Vera *et al* (2000) en los horizontes superficiales el carbono orgánico se presenta en concentraciones medias, sus valores fluctúan entre 14,8 y 24,3 g kg⁻¹. Con la profundidad tiende a decrecer paulatinamente hasta alcanzar valores muy bajos, lo cual refleja el ciclo superficial de este elemento superficial de este elemento.

Sacchi (2002), menciona que el uso del suelo en suelos argentinos, así como también los procesos de erosión hídrica, han ocasionado una disminución en el carbón orgánico, donde el uso del suelo para actividades agrícolas intensivas implica una aceleración de la mineralización, de forma tal que la materia orgánica preexistente disminuye en forma exponencial en el tiempo.

➤ **Nitrógeno Total**

De acuerdo a la Prueba de Comparación de Medias (Tabla 6), mostró el mayor rango del valor promedio en planicie aluvial, con un valor de 0,24 %, presenta diferencias estadísticas significativas con piedemonte y lomerío con valores promedios de 0,12% y 0,11%, respectivamente. El nitrógeno presentó distribución similar a la materia orgánica en planicie aluvial, atribuida a su mineralización (Tabla 6).

Resultados similares encontró Brito *et al.*, (2018) en sistemas agroforestales de cacao, con respecto al contenido de nitrógeno (Nt), los suelos en estudio mostraron valores de 0.15-0.21%. La capacidad de algunos sistemas para retener el nitrógeno atmosférico está asociada con el tipo de vegetación, la historia del uso de la tierra, la topografía y las condiciones del suelo.

➤ **Fósforo**

Con relación a la Prueba de Comparación de Medias (Tabla 6), mostró el mayor rango del valor promedio en planicie aluvial, con un valor de 5,64 mg/kg, presenta diferencias estadísticas altamente significativas con piedemonte y lomerío. con valores promedios de 3,47 y 2,69 mg/kg, respectivamente.

Los valores de P disponibles encontrados en esta investigación son muy bajos, similares a los reportados por López et al., (2007), en plantaciones cacaoteras de avanzada edad, ubicadas en el piedemonte de la cordillera costera de Choroni (estado Aragua, Venezuela), debido al agotamiento de la fertilidad de esos suelos.

➤ Hierro

De acuerdo a la Prueba de Comparación de Medias (Tabla 6), en planicie aluvial se presenta la mayor concentración, con un valor promedio de 105,87 mg/kg, el cual presenta diferencias estadísticas altamente significativas con los paisajes piedemonte y lomerío, con valores promedios de 65,85 mg/kg y 54,89 mg/kg, respectivamente.

A diferencia de este estudio, Vásquez et al, (2014) referencia bajos porcentajes de Fe libre asociados siempre con suelos de alteración y evolución incipiente, lo que está de acuerdo con su clasificación como Entisoles o Inceptisoles. No se observaron procesos avanzados de edafogénesis propios de los sistemas tropicales con alteración y evolución intensa.

➤ Zinc

Según La Prueba de Comparación de Medias (Tabla 6), en planicie aluvial se presenta un mayor rango de este elemento, con un valor promedio de 1,95 mg/kg, el cual presenta diferencias estadísticas altamente significativas con los

paisajes piedemonte y lomerío, con valores promedios de 0,53 mg/kg y 0,68 mg/kg, respectivamente.

Entre los micronutrientes, el Zn se observa como el que más frecuentemente presenta deficiencia en las plantaciones de cacao en el sur de Bahía, especialmente el cacao cultivado en Oxisol y Ultisol (Chepote, et al., 2013).

Azufre

Con relación a la Prueba de Comparación de Medias (Tabla 6), mostró el mayor rango del valor promedio en planicie aluvial, con un valor de 10,60 mg/kg, presenta diferencias estadísticas altamente significativas con piedemonte y lomerío, con valores promedios de 6,53 mg/kg y 4,56 mg/kg, respectivamente.

A nivel de Colombia se reportan deficiencias que superan el 93% en suelos derivados de cenizas volcánicas (Lora, 1992). Éstas han sido relacionadas con los bajos contenidos de MO (Valencia ,1992) y su lenta mineralización (Bornemisza, 1990); la erosión, pérdidas por lixiviación de sulfatos en zonas de alta pluviosidad y la remoción por los cultivos (Burbano, 2001).

4.3 Análisis de componentes principales

Se realizó el análisis multivariado de componentes principales y su dendrograma, con base a la similaridad de los órdenes en la familia, que son de textura fina, se

determinan por la mineralogía y el régimen de temperatura, son criterios que se utilizan en la definición de todos los taxa a este nivel (SSS, 1999).

Al realizar el análisis los cuatro primeros componentes principales que se agruparon explican el 75,2% de la variabilidad de las propiedades físicas y químicas en los diferentes tipos de paisaje que se generaron en esta investigación (Tabla 7).

Tabla 7. Proporción y varianza para la selección de componentes principales en el tipo de paisaje de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

| CP | Valores propios | Proporción % | f | Acumulado % |
|----|-----------------|--------------|---|-------------|
| 1 | 8,69 | 32,2 | | 32,2 |
| 2 | 5,21 | 18,9 | | 51,4 |
| 3 | 4,04 | 15,7 | | 66,6 |
| 4 | 2,38 | 8,6 | | 75,2 |

Fuente: Esta investigación.

El componente principal 1 (CP1) representa el 32,2% (Tabla 7) la variabilidad de las 28 variables físicas y químicas en el paisaje, en donde prevalece las concentraciones de materia orgánica, nitrógeno, carbono y aluminio del suelo (Tabla 8) por efecto del paisaje.

El componente principal 2 (CP2) explicó el 18,9% (Tabla 7) de la variabilidad en los paisajes. Dentro de este componente, se encontró que los de mayor importancia fueron el magnesio, capacidad de intercambio catiónico y estabilidad de agregados en seco (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de cada uno de los componentes y su influencia en el tipo de paisaje de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

| Variables | CP1 | CP2 | CP3 | CP4 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| pH | -0.25 | 0.17 | 0.06 | 0.02 |
| MO | 0.15 | -0.25 | 0.30 | 0.13 |
| CIC | -0.02 | -0.41 | -0.08 | -0.03 |
| K | -0.06 | -0.21 | -0.02 | 0.20 |
| Ca | -0.28 | -0.19 | -0.06 | -0.04 |
| Mg | -0.22 | -0.29 | -0.11 | -0.07 |
| Al | 0.22 | -0.14 | -0.09 | -0.26 |
| CICE | -0.19 | -0.30 | -0.12 | -0.15 |
| Sat_Ca | -0.28 | 0.13 | 0.14 | 0.12 |
| Sat_Mg | -0.22 | -0.24 | -0.04 | 0.04 |
| Sat_K | 0.15 | 0.10 | 0.04 | 0.36 |
| Sat_Ca.Mg | -0.31 | -0.02 | 0.08 | 0.11 |
| Sat_Ca.Mg.K | -0.31 | -0.01 | 0.09 | 0.13 |
| Sat_Al | 0.31 | 0.01 | -0.09 | -0.13 |
| Fe | -0.09 | -0.13 | 0.42 | -0.01 |
| Mn | -0.20 | 0.13 | 0.22 | -0.06 |
| Cu | -0.26 | 0.02 | 0.12 | -0.10 |
| Zn | -0.08 | 0.14 | 0.24 | 0.12 |
| B | 0.05 | -0.12 | -0.10 | -0.31 |
| N.Total | 0.15 | -0.25 | 0.30 | 0.13 |
| C | 0.16 | -0.27 | 0.24 | 0.13 |
| S | 0.14 | -0.18 | 0.21 | 0.14 |
| P | 0.08 | -0.17 | 0.21 | 0.05 |
| Da | -0.06 | 0.15 | 0.28 | -0.25 |
| Dr | -0.03 | 0.10 | -0.19 | 0.42 |
| Porosidad Total | 0.02 | -0.02 | -0.29 | 0.45 |
| DPM.Shacker seco) | -0.04 | -0.25 | -0.17 | 0.17 |
| DPM...Yoder (húmedo) | 0.22 | 0.15 | 0.21 | 0.10 |

Fuente: Esta investigación.

El componente principal 3 (CP3) explicó el 15,7% (Tabla 7) de la variabilidad en los paisajes. Dentro de este componente se encontró el potasio, hierro, zinc y en las propiedades físicas, densidad aparente (Tabla 8).

El componente principal 4 (CP4) explicó el 8,6% (Tabla, 7) de la variabilidad en los paisajes. Dentro de este componente, se encontró el potasio, aluminio, boro y en las propiedades físicas, porosidad total (Tabla 8).

Se observa, que la materia orgánica, carbono y nitrógeno tienen mayor peso en tres de los cuatro componentes, lo que corrobora que son las variables más sobresalientes en el orden de suelos por tipo de paisaje, mientras que el pH, está en dos, al igual que las bases como potasio, magnesio, calcio y aluminio (Tabla 8).

4.4 Análisis de conglomerados

En el análisis de cluster, ubicándonos a 1.5 a 2.0 de acuerdo al índice de ward, podemos identificar tres grupos, con las variables físicas y químicas (Figura 4).

Grupo 1: En este se aglomeran 11 variables, que se concentran, la mayor parte de ellas en el paisaje piedemonte (inceptisol), se encuentra materia orgánica, nitrógeno, carbono y capacidad de intercambio catiónico, importantes en el desarrollo del cultivo de cacao.

Grupo 2: Compuesto por 16 variables físicas y químicas, agrupadas en el paisaje de planicie, fósforo, capacidad de intercambio catiónico y carbono, principalmente.

Grupo 3: Se presentan 13 variables físicas y químicas, en el paisaje de lomerío, se destacan materia orgánica, nitrógeno y carbono, las cuales no son representativas en este paisaje (menor concentración).

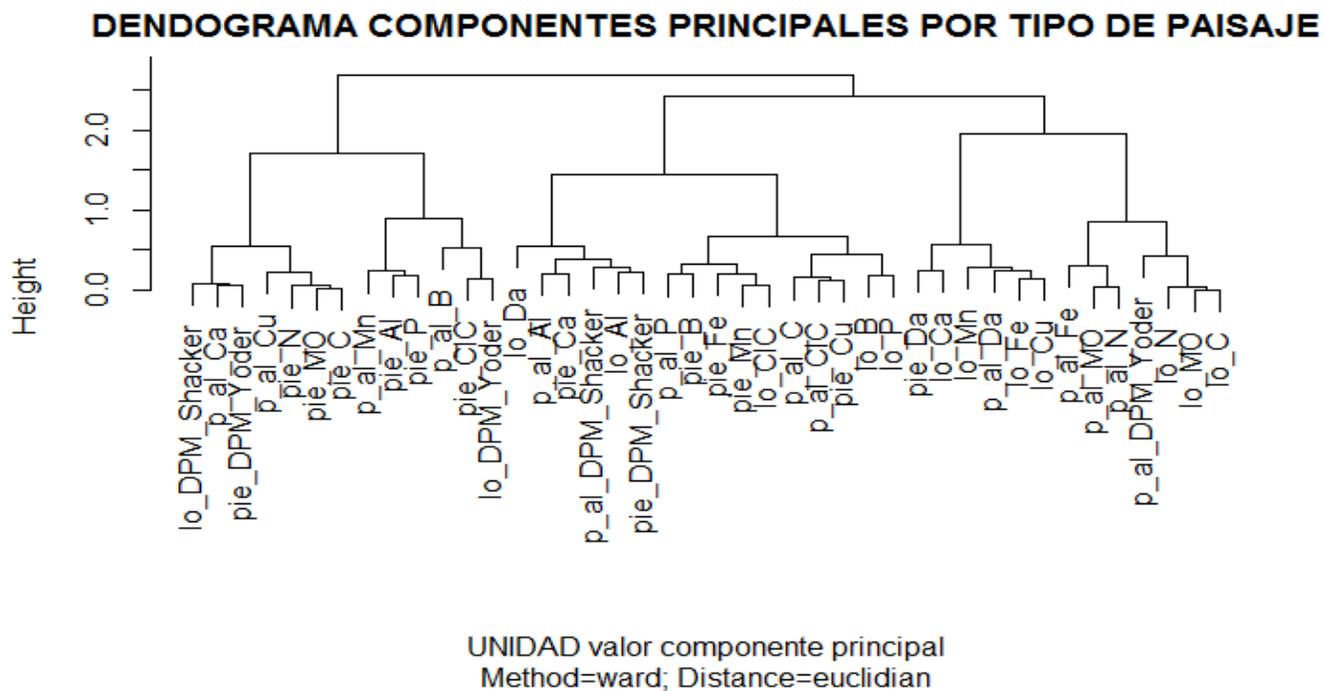


Figura 4. Dendrograma de las variables físicas y químicas por tipo de paisaje, en San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

4.5 Correlación entre las propiedades físico-químicas y producción del cultivo de cacao por paisaje

4.5.1 Índice de mazorca

Al evaluar el clon ICS 95 en las 12 fincas,. Se obtuvo índice de mazorca entre 19 y 28. En estudio realizado por FEDECACAO (2004), para la zona

productora de Bosque Húmedo Tropical, el clon ICS 95 presentó un índice de mazorca de 20 e índice de grano de 1,52.

4.5.2 Índice de grano

Al pesar las 100 almendras en seco, se obtuvieron pesos desde 105 g, el cual según la clasificación es considerado como pasilla y el máximo fue de 144,8 g considerado grano premium.

4..5.3 Producción

La producción fluctuó entre 0,25- 0,74 kg por árbol en los diferentes tipos de paisajes; no se presentó diferencia, pero en el paisaje de lomerío se observó una tendencia a mejor producción (Figura 5).

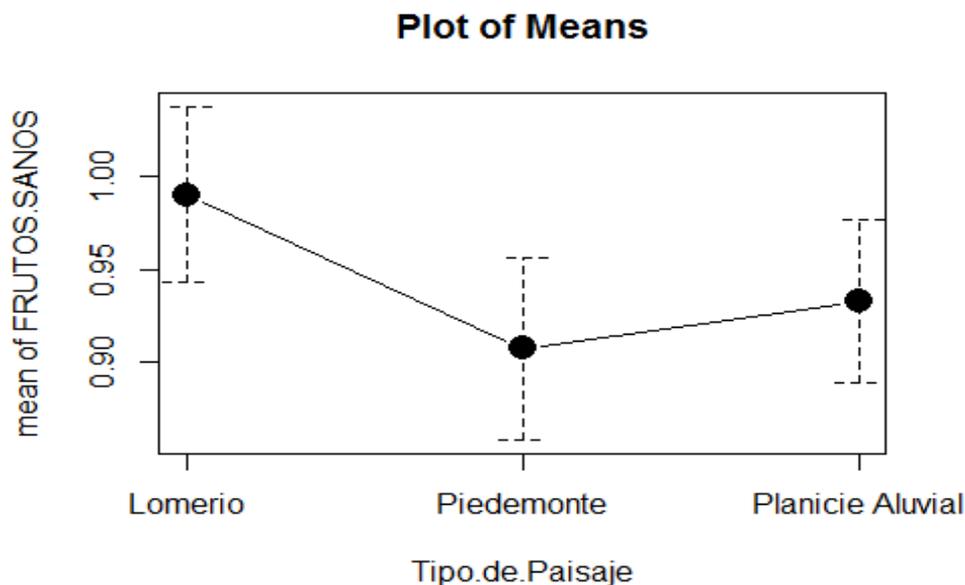


Figura 5. Producción promedio de frutos sanos por árbol, en los diferentes tipos de paisaje de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

4.6 Análisis de correlación de Pearson

En la Tabla 9, se muestra el análisis de correlación de Pearson para las variables: físicas, químicas y producción.

Las variable química potasio (K) presentó una correlación ($r=0,44$) con respecto a la producción, similar a la variable Calcio (Ca) con una correlación de $r=0,55$ igual a la variable Mg ($r=0,55$), las cuales son las bases que se concentran en la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), que tuvo una correlación de $r=0,58$ y la variable física estabilidad de agregados en seco ($r=0,45$) (Tabla 9).

En esta investigación se obtuvo una interacción entre el Ca/Mg de 1,89 a diferencia de lo reportado por Moreno *et al.*, (2013) en suelos cultivados con cacao en la sierra de Perijá, la proporción Ca/Mg (4,77) fue la única relación que

mostró niveles óptimos en toda el área de estudio; sin embargo, este valor se encuentra muy cercano al límite óptimo para la buena disponibilidad de Mg, pudiendo cambiar desfavorablemente a medida que el cultivo agote este nutriente del suelo, especialmente si se intensifica la producción comercial del cacao en la zona. En este caso, las deficiencias de Mg afectarían el rendimiento y la calidad comercial de la semilla de cacao cosechada (Uribe et al., 2009).

Según Jardín y Snack (1985), las proporciones óptimas para el cacao son 68% Ca, 24% Mg y 8% K del total de estas bases intercambiables en el suelo. La fertilidad del suelo se basa en expresar el contenido de bases por saturación (en relación a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) (Guachetà, 2017).

Los estudios realizados por Snoeck (2008) y su grupo de investigación, en distintos tipos de suelos, han mostrado que el cacao es un árbol con amplia adaptación y que su rendimiento o producción no es significativamente distinta cuando dispone de mayor nivel de nutrientes en el suelo. Contrariamente en Ecuador, se conoce que para la mantener la producción, mayor de 2 Ton ha⁻¹ , se debe adicionar fertilizante, 1 Ton ha⁻¹. (Mitte, 2012 Comunicación personal).

Con respecto a la variable física estabilidad de agregados en seco ($r= 0,45$) (Tabla 9), según Montenegro (1991), la estructura del suelo tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo, en determinados casos, un factor limitante en la producción. Una estructura desfavorable puede acarrear problemas en el desarrollo de las plantas, tales como el exceso o deficiencia de agua, la falta de aire, la incidencia de enfermedades, la baja actividad microbiana,

el impedimento para el desarrollo de las raíces, etc; por el contrario, una buena estabilidad de agregados favorece el almacenamiento y la entrada de agua en el perfil. una estructura favorable permitirá que los factores de crecimiento actúen eficientemente y se obtengan, en consecuencia, los mayores rendimientos de producción. El uso agrícola a mediano y largo plazo altera la estructura, manifestándose en la disminución de la estabilidad (Shepherd *et al.*, 2001).

Tabla 9. Matriz de correlación entre las propiedades de los suelos cacaoteros, en los diferentes tipos de paisaje, de San Andrés de Tumaco, 2017-2018.

| | Prod.kg/ha.año | P | K | Ca | Mg | Sat_Ca | Sat_Ca .Mg | Sat_Ca. Mg.K | Sat_M g | Sat_K | CIC | CICE | pH | Da | DPM.Shacker..agregados.en.seco |
|--------------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|-----------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|
| Prod. kg/haño | 1.000 | -0.069 | 0.447 | 0.554 | 0.556 | 0.179 | 0.318 | 0.320 | 0.383 | -0.062 | 0.581 | 0.601 | 0.139 | -0.180 | 0.450 |
| P | -0.069 | 1.000 | 0.007 | -0.110 | 0.047 | -0.260 | -0.150 | -0.150 | 0.087 | 0.056 | 0.298 | 0.011 | -0.205 | -0.026 | -0.148 |
| K | 0.447 | 0.007 | 1.000 | 0.399 | 0.420 | 0.026 | 0.188 | 0.207 | 0.349 | 0.360 | 0.495 | 0.478 | -0.004 | -0.097 | 0.232 |
| Ca | 0.554 | -0.110 | 0.399 | 1.000 | 0.891 | 0.561 | 0.758 | 0.747 | 0.706 | -0.486 | 0.497 | 0.882 | 0.474 | -0.065 | 0.312 |
| Mg | 0.556 | 0.047 | 0.420 | 0.891 | 1.000 | 0.240 | 0.592 | 0.577 | 0.856 | -0.535 | 0.738 | 0.950 | 0.197 | -0.174 | 0.428 |
| Sat_Ca | 0.179 | -0.260 | 0.026 | 0.561 | 0.240 | 1.000 | 0.887 | 0.893 | 0.299 | -0.171 | -0.302 | 0.156 | 0.773 | 0.306 | -0.061 |
| Sat_Ca.Mg | 0.318 | -0.150 | 0.188 | 0.758 | 0.592 | 0.887 | 1.000 | 0.999 | 0.705 | -0.359 | 0.049 | 0.467 | 0.688 | 0.181 | 0.133 |
| Sat_Ca.Mg. K | 0.320 | -0.150 | 0.207 | 0.747 | 0.577 | 0.893 | 0.999 | 1.000 | 0.694 | -0.318 | 0.037 | 0.449 | 0.686 | 0.180 | 0.131 |
| Sat_Mg | 0.383 | 0.087 | 0.349 | 0.706 | 0.856 | 0.299 | 0.705 | 0.694 | 1.000 | -0.480 | 0.567 | 0.726 | 0.236 | -0.095 | 0.370 |
| Sat_K | -0.062 | 0.056 | 0.360 | -0.486 | -0.535 | -0.171 | -0.359 | -0.318 | -0.480 | 1.000 | -0.292 | -0.541 | -0.276 | 0.077 | -0.097 |
| CIC | 0.581 | 0.298 | 0.495 | 0.497 | 0.738 | -0.302 | 0.049 | 0.037 | 0.567 | -0.292 | 1.000 | 0.779 | -0.310 | -0.357 | 0.486 |
| CICE | 0.601 | 0.011 | 0.478 | 0.882 | 0.950 | 0.156 | 0.467 | 0.449 | 0.726 | -0.541 | 0.779 | 1.000 | 0.200 | -0.147 | 0.375 |
| pH | 0.139 | -0.205 | -0.004 | 0.474 | 0.197 | 0.773 | 0.688 | 0.686 | 0.236 | -0.276 | -0.310 | 0.200 | 1.000 | 0.413 | -0.205 |
| Da | -0.180 | -0.026 | -0.097 | -0.065 | -0.174 | 0.306 | 0.181 | 0.180 | -0.095 | -0.077 | -0.357 | -0.147 | 0.413 | 1.000 | -0.514 |
| DPM.Shacker..agregados.en.seco | 0.450 | -0.148 | 0.232 | 0.312 | 0.428 | -0.061 | 0.133 | 0.131 | 0.370 | -0.097 | 0.486 | 0.375 | -0.205 | -0.514 | 1.000 |

Fuente: Esta investigación.

V. CONCLUSIONES

No se presentaron efectos en las variables físicas en los diferentes tipos de paisaje, como tampoco en la profundidad.

En el suelo del orden entisol de planicie aluvial, se presentaron efectos en las variables químicas materia orgánica, carbono, nitrógeno total, hierro zinc y azufre y respecto a la profundidad se encontraron diferencias en las variables hierro por procesos de redo, boro y cobre.

Los tipos de paisaje piedemonte y lomerío del orden inceptisol, presentan suelos ácidos por la presencia de aluminio expresada en valores de pH alrededor de 5.

No se presentó diferencia en la producción en los diferentes ordenes de suelos y tipo de paisaje, pero en el paisaje de lomerío (inceptisol), se observó una tendencia a mejor producción.

Este estudio genera una oferta de conocimiento de algunas propiedades físicas y químicas de suelos, en los diferentes tipos de paisaje y ordenes de suelo, para su uso potencial, establecimiento de nuevas siembras y manejo de las áreas establecidas de cacao, permitiendo generar alternativas de fertilización para mejorar la producción del cultivo.

VI. BIBLIOGRAFIA

Agrocabildo, 2014. ¿Cómo tomar una muestra de suelo?. Disponible en línea: http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_537_suelos.pdf

Agronet. 2016. Sistemas de estadísticas Agropecuarias. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>. Consulta: Octubre de 2018.

ALCALDIA MUNICIPAL DE TUMACO. Plan de desarrollo, 2016-2019. Tumacopazión. p 32.

AMORES, F, *et al.*, 2005. Influencia del tiempo de fermentación y el tostado sobre el desarrollo de compuestos aromáticos asociados al sabor a chocolate en almendras de cacao de la variedad Nacional. Presentación en la 15th Conferencia internacional de investigación en cacao. COPAL. San José, Costa Rica. 7 p.

ASOCIACIÓN NACIONAL DE EXPORTADORES DE CACAO (ANECACAO), 2015. Asociación Nacional De Exportadores de Cacao - Ecuador. Disponible en línea: <http://www.anecacao.com/es/cacao-nacional/>.

ASOCIACIÓN NACIONAL DEL CAFÉ (ANACAFE), 2004. Cultivo del cacao. p.12.

BARRIGA, S.; MENJIVAR, J.C. y MITE, F. 2006. Validación del manejo de la nutrición por sitio específico en una plantación de cacao en la provincia de Guayas, Ecuador. En Acta Agronómica, vol55 (3) p 15-22.

BORNEMISZA, E. 1990. Problemas del Azufre en Suelos y Cultivos de Mesoamérica. San José. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 104 p.

BRITO, H., SALAYA-DOMINGUEZ, J. M., GÓMEZ-MÉNDEZ, E., GÓMEZ-VÀZQUEZ, A y ANTELE-GÓMEZ, J. B. 2018. Propiedades físico-químicas del suelo y las vainas (*Theobroma cacao* L.) en Sistemas agroforestales de cacao. *Journal of Agronomy*, 17: 48-55.

BURBANO, F. y CADENA, W. 2009. Determinación de las características edafoclimáticas que garantizan la producción y calidad nutritiva del pasto brasilero (*Phalaris* sp), en condiciones de no intervención, en un rango de altitud comprendida entre 3050 - 3300 msnm. en el municipio de Guachucal, departamento de Nariño. Tesis de grado Zootecnista, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto. 128 p.

BURBANO O. 2001, H. El azufre en el suelo. *In*:Silva M., F. (Ed). Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. junio 28-29.. p 24 - 49.

Cacao de Tumaco gana premio mundial a la excelencia en el salón de Chocolate de Paris. Disponible en línea: <http://xn--nario-rta.gov.co/2012-2015/index.php/prensa/6559-cacao-de-tumaco-narino-gana-premio-mundial-a-la-excelencia-en-el-salon-de-chocolate-de-paris>. Consulta: Abril de 2018

CARDONA, A.; SADEGHIAN, J. 2005. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. *Revista CENICAFE* 56(4):348 - 364.

CASA LUKER. Nuevo enfoque de la cacaocultura Colombiana, 2011. Disponible en: <http://www.appcacao.org/descargas/seminario2011/Cacao%20Colombiano.pdf>.

CASA LUKER, 2006. Generación de núcleos de producción de semi-procesados en cacao en zonas de Producción. /Actores involucrados. Compañía Nacional de Chocolates, Casa Luker.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. M.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no sul da Bahia. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2013. 44p. (Boletim Técnico, 203).

CORPORACIÓN DE INVESTIGACIÓN COLOMBIANA AGROPECUARIA (CORPOICA) 2005. Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao .

ENRIQUEZ, G. 2004. Cacao orgánico: guía para productores ecuatorianos. Quito, Ecuador. p. 360

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS , 2017. Disponible en fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/551-en-2017-colombia-alcanzo-nuevo-record-en-produccion-de-cacao. Consultado noviembre/2018

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, 2015a. Guía Técnica para el Cultivo del Cacao. Bogotá D.C., 2 ed. LCB Ltda. 189. p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, 2015b. Disponible en línea: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/326-en-2016-se-logro-nuevo-record-en-produccion-nacional-de-cacao/>.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, 2015b . Disponible en: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/304-planeacion>. Consulta: Agosto de 2018.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, 2013, PRODUCCIÓN DE CACAO SUBIRÁ EL 12% EN 2013. Disponible en: <http://www.fedecacao.com.co/site/index.php/1nov-novedades/2nov-noticias/4309-2014-0127-nota1>. Consulta: Agosto de 2018

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, 2012. Guía Técnica para el cultivo de Cacao, Quinta edición. 189 p. Bogotá D.C.,

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, 2009. Estadísticas acerca de la producción nacional registrada de cacao en grano, Bogotá Marzo.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, 2007. Guía Técnica para el Cultivo del Cacao. Bogotá D.C., 2 ed. LCB Ltda. 189. p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS , ,2004. El beneficio y características físico químicas del cacao. Bogotá D.C. Produmedios.

Fernandez , A. E, 2012. Eficacia de bioestimulante para inducir el Crecimiento y Desarrollo Radicular en Etapa de Vivero del Cultivo de Cacao bajo las condiciones del Valle Chancay (Perú). Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/foros/eficacia-bioestimulante-inducir-crecimiento-t14437/>. Consulta: Agosto de 2018.

GACHETÁ, C., 2017. La importancia de conocer la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Disponible en línea : <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/la-importancia-de-conocer-la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>. Consulta septiembre de 2018.

GEISSERT, D.; IBÁÑEZ, A. 2000. Calidad y ambiente físico-químico de los suelos. Revista Agrociencia. 36(5):605 - 620.

GRAETZ, H. A. 2000. Suelos y fertilización. Manual para educación agropecuaria. Traducido por Orozco, F. Colaboración Kirchner, F.; López, E. y Berlijn, J. Séptima reimpresión. Editorial Trillas, IMPREMAX, México, Distrito Federal. 80 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES (ICONTEC), 2003. Norma Técnica Colombiana 1252. Ed. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Bogotá, Colombia. 12 p.

INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES

AGROPECUARAS (INIAP). 2009c. Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao. BOLETIN TECNICO 135-INIAP, Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/57699596/19/Requerimientos-nutricionales-del-cultivode-cacao>.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN GEOGRAFICO (IGAC), 2014. Mineralogía sedimentaria de suelos de Tumaco, Departamento de Nariño. Bogotá: IGAC.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN GEOGRAFICO (IGAC), 2012. Suelos de Nariño. Disponible en: <https://www.geoportal.gov.co>. consulta; septiembre de 2018. Bogotá: IGAC.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 6 ed. IGAC, Bogotá. 513 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC) 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC) 1995. Suelos de Colombia. Santafe de Bogotá.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN GEOGRAFICO, 1961. Mineralogía sedimentaria de suelos de Tumaco, Departamento de Nariño. Bogotá: IGAC.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN GEOGRAFICO,1960. Levantamiento general de suelos de la región del río Mira. Bogotá: IGAC.

JADIN, P. & SNOECK, J.1985. La méthode du diagnostic sol pour calculer les besoins en engrais des cacaoyers. Café Cacao Thé, 29, 255-266.

JARAMILLO, D. 2004.Ciencia del Suelo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia,.352-353; 614p.

JULK, R. 2013. Calicata. Disponible en línea: <https://es.slideshare.net/RicardoJulkVera/apertura-de-calicata-terminado>. Consulta octubre/2018.

LEIVA, E., 2012. Aspectos para la nutrición del Cacao, *Theobroma cacao*. Disponible en <https://www.bdigital.unal.edu.co/50450/1/1/ednaivonneleivarojas.2012.pdf>. Consulta agosto de 2018.

LÓPEZ–LEFEBRE, L.; RIVERO, R.; GARCIA, R.; SÁNCHEZ, E.; RUIZ, J.; y ROMERO, L. 2002. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. *J. Plant Nutr.* 25(3):509 – 522.

LÓPEZ. M.; LÓPEZ, I.; ESPAÑ, M.; IZQUIERD, A.; HERRERA, L. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arburculares en plantaciones de *teobroma cacao*. *Agronomía Trop*, 1 (57): 6–26.

LORA, S. R. 1982. El Azufre en la agricultura Colombiana. Convenio ICA-Monómeros. Informe final, Fase I, Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario. 65 p.

MADR. 2012. Plan de Desarrollo Cacaotero 2012-2021. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR), 2011. Desarrollo cacaotero y diversificación productiva en Talamanca. Disponible en. Disponible en http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/programas/sixaola-proy02-CRCacao.pdf. Consulta: Noviembre de 2018.

MENDIS, P, 2003. Manual del cultivo de cacao. Disponible en: <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/215.pdf>.

MONTENEGRO, H; MALAGÓN, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín

MORENO, M.; PIRELA, H.; MEDINA, M.; MOLINA, N.; POLO, V. y URDANETA, M. 2013. Evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cultivados con cacao (*Theobroma Cacao* L.) en la Sierra de Perijá. *Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología*. Año 4 N° 8, En-Abr 8-28 p.

NAKAYAMA, L. H. 2010. Avaliação do estado nutricional das combinações híbridas de cacaueteiro cultivado no Latossolo Amarelo Distrofico Típico. *Agrotropica* 22(1):5 – 10.

QUIROZ, J. y AGAMA, J. 2006. Programa de capacitación en la cadena de cacao. Módulo producción. Unidad 2. Quito.

RINCÓN, A., GARZÓN, E., y TORRES-AGUAS, J. 2016. Suelos por tipo de paisaje asociados al cultivo de la palma de aceite en la Zona Suroccidental de Colombia. *Palmas*, 37(1), 25-43.

SACCHI, G. 2002. Evaluación de los cambios en las propiedades físicas y químicas de un argiustol udico por procesos de degradación. *Revista Agrocencia*. 5(2):37 - 46.

SAENZ, C. B. 1991. El cultivo del cacao. Federación de cafeteros de Colombia. Editorial Tolaser. Colombia.

SHEPHERD, T. G.; SAGGAR, S.; NEWMAN, R.H.; ROSS, C.W. y DANDO, J. L. 2001. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils. *Aust. J. Soil Res.* 39: 465-489.

SNOECK, D. 2008, The soil diagnostic method for formulating fertilizer requirements of cocoa in Ghana. CIRAD. 15th International cocoa research Conference. 387-396 p.

SOIC, Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2014. Disponible en: <http://sioc.minagricultura.gov.co> . Consultado: Agosto de 2018.

SOIL SURVEY STAFF, 1999. Claves para la taxonomía de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 399 p.

SUAREZ, S., et al 1986. Caracterización física, uso y manejo y conservación de algunos suelos de origen ígneo, sedimentario y metamórfico en la zona cafetera del departamento del Huila. (CENICAFE) (Colombia) 37 (2): 41-60p.g.

The R Project for Statistical Computing. Disponible en: <https://www.r-project.org/>. Consulta: Mayo de 2018.

Tumaco en Nariño. Disponible en línea: <http://ccai-colombia.org/2011/06/09/en-la-convulsionada-tumaco-pocos-avances-2>.

UNIGARRO, S.A., INSUASTY, B.R. y CHAVES, J.G. 2009. Manual de prácticas de laboratorios suelos generales, Primera Edición, Editorial Universitaria, Universidad de Nariño. 25 – 105 p.

URIBE, A.; MENDEZ, H. y MANTILLA, J. 2009. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. *Revista Suelos Ecuatoriales*, Nro. 28:31-36.

VALENCIA ,A., G. 1982. El Azufre en la Nutrición del Cafeto. Manizales (Colombia), CENICAFE, 1992. 8 p.

VASQUEZ, J. S; MACÍAS, F.; MENJIVAR, J. C. 2014. formas de hierro y aluminio en suelos con diferentes usos en la zona norte del departamento del Magdalena, Colombia. *Acta Agron.*, Volumen 63, Número 4, p. 352 - 360, 2014. ISSN electrónico 2323-0118. ISSN impreso 0120-2812.

.VERA, M.; ROSALES, H.; y UREÑA, N. 2000. Caracterización fisicoquímica de algunos suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela. Revista Geográfica Venezuela, 41(2): 257 – 270

WESSTEIN, E. 2011. Correlation Coefficient MathWorld – A Wolfram. <http://mathworld.wolfram.com/CorrelationCoefficient.html>. Consulta: Octubre de 2018.

WOOD, G. 1982. Cacao, Trad. por Marino, Primera edición en español, Compañía Editorial Continental S.A., México, D.F. p. 53 -69; 255 - 274. Thompson L y Troeh F. 1982. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición. Editorial Reverté. S.A. p.55 – 57; 188 – 200; 203 – 206; 209 – 210.

ZAPATA,. 2006. Química de los procesos pedogenéticos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Escuela de Geociencias. Medellín. 358 p.

ANEXOS

ANEXO A

Formato aplicado a productores de cacao.

ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Fecha : _____ Nombre del encuestador: _____
Nombre: _____ C.C: _____
Edad: _____ años Teléfono: _____
Nombre de la finca: _____
Vereda: _____ Área total de la finca: _____ ha

CULTIVO EVALUADO (Cacao)

Área: _____ ha Variedad del cultivo: _____ Distancia de siembra:
_____ m Edad: _____ años Tipo de paisaje:

Coordenadas N: _____ W: _____ Altura _____ msnm

MANEJO DEL CULTIVO

Quién lo maneja: el dueño otro (s): _____

PLAGAS Y/O ENFERMEDADES EN EL CULTIVO

| Plaga o enfermedad | Controla SI/NO | Frecuencia de control (días) |
|--------------------|----------------|------------------------------|
| | | |
| | | |
| | | |

RENDIMIENTOS: Cuántos kilos (kg/ha) de cacao en grano seco (promedio mínimo de 2 años)

- a. Inferior a 300 kg/ha _____
- b. 300-400 kg/ha _____
- c. 400-500 kg/ha -----
- d. Superior a 500 kg/ha -----

INFORMACIÓN SOBRE SUS SUELOS

Considera que su suelo es bueno? SI ___ NO ___

Por què _____

Hizo análisis de sus suelos? SI ___ NO ___

Cuándo? _____

Aplica fertilizantes al suelo? SI ___ NO ___

Observaciones:

Anexo B

Distribución de fincas muestreadas, en el municipio de San Andrés de Tumaco 2017-2018.

| Localización | Tipo de Paisaje | Código Fincas | Nombre de las Fincas |
|---|------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Pindales | Planicie Aluvial | A1 | Don Orlamdo |
| Km 28 | Planicie Aluvial | A2 | La Esperanza |
| C.C Unión del Río Chagui | Planicie Aluvial | A3 | Doña Francisca |
| C.C Unión del Río Chagui | Planicie Aluvial | A4 | La Juliana |
| C.C Unión del Río Chagui | Piedemonte | P1 | Don Raúl |
| C.C Recuerdo de Nuestros Ancestros Río Mejicano | Piedemonte | P2 | La Quebradita |
| C.C La Nupa | Piedemonte | P3 | El Zapote |
| C.C La Nupa | Piedemonte | P4 | Don Erasmo |
| C.C Unión del Río Chagui | Lomerio | L1 | La Loma |
| C.C Tablón Dulce | Lomerio | L2 | En las Manos de Dios |
| C.C Tablón Dulce | Lomerio | L3 | La Fortuna |
| C.C Recuerdo de Nuestros Ancestros Río Mejicano | Lomerio | L4 | El Progreso |

ANEXO C

Georeferenciación de puntos muestreados.

| type | ident | Latitude | Longitude | y_proj | x_proj |
|----------|------------------|------------|--------------|-----------------|------------------|
| WAYPOINT | CALICATAJORDY | 1,66240400 | -78,58389300 | 675650,03316024 | 1166217,86169297 |
| WAYPOINT | CALICATAWISTON | 1,63534000 | -78,73124800 | 672644,80109839 | 1149818,19375449 |
| WAYPOINT | CALICATADIONISIO | 1,81665300 | -78,46748600 | 692723,11539245 | 1179161,03205500 |
| WAYPOINT | MARRIBADIONISIO | 1,81664100 | -78,46777700 | 692721,75910232 | 1179128,64259313 |
| WAYPOINT | MARRIBADALMIRO | 1,44693900 | -78,61806900 | 651814,35394153 | 1162430,20171437 |
| WAYPOINT | MATANASIO | 1,79732500 | -78,51030500 | 690580,92061609 | 1174396,82640289 |
| WAYPOINT | MABAJJODIONISIO | 1,81661900 | -78,46785000 | 692719,31824015 | 1179120,51927364 |
| WAYPOINT | MDALMIROABAJO | 1,44803200 | -78,61811500 | 651935,24853512 | 1162425,00316415 |
| WAYPOINT | MERASMOABJO | 1,43141300 | -78,63103600 | 650096,09210061 | 1160987,80156112 |
| WAYPOINT | MERASMOARRIBA | 1,43217300 | -78,62985800 | 650180,23880698 | 1161118,88424117 |
| WAYPOINT | MFRANCISCA | 1,83531300 | -78,50842700 | 694783,22113732 | 1174602,21253314 |
| WAYPOINT | MJIMMYABAJO | 1,71761400 | -78,50373300 | 681764,13816138 | 1175135,76634064 |
| WAYPOINT | MJIMMYARRIBA | 1,71824200 | -78,50356900 | 681833,62080594 | 1175153,96428622 |
| WAYPOINT | MJORGEABAJO | 1,67311300 | -78,57695000 | 676835,17737209 | 1166989,79182446 |
| WAYPOINT | MJORGEARRIBA | 1,67289400 | -78,57770600 | 676810,88871184 | 1166905,65945717 |
| WAYPOINT | MORLANDOPINDALES | 1,62955800 | -78,74760100 | 672004,06894750 | 1147998,44667621 |
| WAYPOINT | MARRIBAJORDY | 1,66245400 | -78,58392800 | 675655,56086233 | 1166213,96162583 |
| WAYPOINT | MRAULABAJO | 1,81090100 | -78,46765400 | 692086,81677035 | 1179142,89830400 |
| WAYPOINT | MRAULARRIBA | 1,81095100 | -78,46802000 | 692092,31155438 | 1179102,15451936 |
| WAYPOINT | MREMBERTOABAJO | 1,72557200 | -78,50789600 | 682644,04704640 | 1174671,65024917 |
| WAYPOINT | MREMBERTOARRIBA | 1,72588900 | -78,50586100 | 682679,29969704 | 1174898,13991901 |
| WAYPOINT | MABAJOJORDY | 1,66195400 | -78,58430900 | 675600,22230588 | 1166171,59397383 |
| WAYPOINT | MWISTONPINDALES | 1,63551100 | -78,73147200 | 672663,69797966 | 1149793,24867715 |

Anexo E

Formato índice de mazorca. Fuente: Engels, *et al.*, 1980.

| FICHA PARA CALCULAR EL INDICE DE MAZORCA E INDICE DE GRANO | | | | | | | |
|---|-----------------------|---------------------------|---------------------------------------|---|------------------|------------------|--|
| 1. IDENTIFICACION DEL CULTIVA | | | CACAO | | | | |
| Nombre de la Finca _____ | | | Propietario: _____ | | | | |
| Vereda: _____ 0 _____ | | Municipio: _____ | | Departamento: _____ | | | |
| 3. REGISTRO DE INDICE DE MAZORCA E INDICE DE GRANO | | | | | | | |
| No. MAZORCA | PESO MAZORCA (Gramos) | No. DE ALMENDRAS/ MAZORCA | PESO HUMEDO DE LAS ALMENDRAS (Gramos) | GROSOR DE LA CASCARA EN LA PARTE MEDIA (cm) | LARGO DE MAZORCA | ANCHO DE MAZORCA | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| TOTAL | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| PROM. | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | | | |
| PESO SECO DE LAS ALMENDRAS | | #¡DIV/0! | INDICE DE MAZORCA | | #¡DIV/0! | | |
| I.G | | #¡DIV/0! | | | | | |
| 4. OBSERVACIONES: | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Nombre del Técnico Responsable _____ | | | | | | | |
| F.T 1.4 | | | | | | | |
| <p>pico de cosecha. Sus almendras no es necesario que pasen por el proceso de fermentación; por lo tanto pueden secarse directamente en la oficina y enviar a San Vicente de Chucurí una muestra de aproximadamente 300 gr., cuando alcance el 7% de humedad.</p> | | | | | | | |