

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SUELOS**



**“GÉNESIS, MORFOLOGÍA, MINERALOGÍA Y CLASIFICACIÓN
DE LOS SUELOS DE IRAZOLA, PADRE ABAD, UCAYALI”**

Presentada por:

VANESSA ORIANA LLAMOJA RIOS

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN SUELOS**

Lima - Perú

2023

TESIS VANESSA LLAMOJA

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
2	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1%
3	CARLOS RENGIFO SAAVEDRA. "EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDA ORGÁNICA Y MINERAL SOBRE LA FERTILIDAD DE UN SUELO ÁCIDO ULTISOL DE LA AMAZONÍA PERUANA", Universitat Politecnica de Valencia, 2014 Publicación	<1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
5	Manuel E. Camacho, Adolfo Quesada-Román, Rafael Mata, Alfredo Alvarado. "Soil-geomorphology relationships of alluvial fans in Costa Rica", Geoderma Regional, 2020 Publicación	<1%
6	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SUELOS**

**“GÉNESIS, MORFOLOGÍA, MINERALOGÍA Y
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE IRAZOLA, PADRE
ABAD, UCAYALI”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

VANESSA ORIANA LLAMOJA RIOS

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Luis Tomassini Vidal
PRESIDENTE

M.Sc. Rubén Bazán Tapia
ASESOR

Dr. Oscar Loli Figueroa
MIEMBRO

Mg.Sc. Julio Nazario Ríos
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi Madre

Nancy

AGRADECIMIENTOS

Es satisfactorio dar por concluido uno de mis objetivos trazados en esta vida, tal es el caso de mi trabajo de tesis magistral, que sin duda alguna fue un periodo de constante aprendizaje no sólo en el ámbito profesional sino también en lo personal. A la vez es necesario expresar mi gratitud por este medio a aquellas personas que formaron parte del proceso y que también merecen el mérito.

No hay forma de plasmar mi más profundo agradecimiento hacia la persona que me vio nacer, que es mi mayor inspiración, mi madre; Nancy Matilde Rios del Aguila, quien me formó, orientó y que es pieza clave para lograr mis objetivos.

Agradecer de manera especial a mi asesor el Mg Sc. Rubén Bazán Tapia por aceptarme realizar esta tesis bajo su dirección, por su orientación y atención a mis consultas, agradezco también el haberme facilitado los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas en el laboratorio de investigación de suelos. Asimismo, debo agradecer al profesor Mg Sc. Julio Nazario Ríos por la atención prestada.

Gracias a mi familia y amigos, compañeros de maestría y de laboratorio por el apoyo moral y por los momentos compartidos.

Finalmente, agradecer a la Universidad Nacional Agraria La Molina por posibilitar la divulgación de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	SUELO.....	3
2.1.1	Suelos tropicales	4
2.2	GÉNESIS DE LOS SUELOS	4
2.2.1	Factores que forman el suelo	5
2.2.2	Procesos formadores del suelo	7
2.2.3	Suelos según su origen	10
2.3	MORFOLOGÍA DEL SUELO	12
2.4	ESTRATIGRAFÍA, EDAD Y CORRELACIÓN.....	15
2.4.1	Formación Chambira	16
2.4.2	Formación Ipururo.....	16
2.4.3	Depósitos cuaternarios.....	17
2.5	FISIOGRAFÍA.....	17
2.5.1	Paisaje de llanura	18
2.5.2	Paisaje colinoso	18
2.6	MINERALES CONSTITUYENTES DEL SUELO.....	19
2.7	TAXONOMÍA DE LOS SUELOS.....	25
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1	ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA EN ESTUDIO.....	28
3.1.1	Localización y extensión	28
3.1.2	Clima y parámetros meteorológicos	29
3.1.3	Zona de vida	30
3.1.4	Hidrografía.....	30
3.2	PROCESO METODOLÓGICO	31
3.2.1	Recopilación de información cartográfica.....	31
3.2.2	Generación de información temática.....	31
3.2.3	Generación de información de campo	32
3.2.4	Proceso de análisis de muestras de suelo.....	33
3.2.5	Clasificación taxonómica de los suelos	34
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1	GÉNESIS DE LOS SUELOS DE IRAZOLA	35
4.2	MORFOLOGÍA DE LOS SUELOS DE IRAZOLA	43
4.2.1	Morfología de suelos fluviales	44

4.2.2	Morfología de suelos de la Formación Ipururo	46
4.2.3	Morfología de suelos de la Formación Chambira	47
4.2.4	Procesos de formación.....	50
4.3	MINERALOGÍA DE LOS SUELOS DE IRAZOLA	59
4.3.1	Mineralogía de los suelos fluviales	59
4.3.2	Mineralogía de los suelos de la Formación Ipururo	62
4.3.3	Mineralogía de los suelos de la Formación Chambira	67
4.4	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE IRAZOLA	71
V.	CONCLUSIONES.....	76
VI.	RECOMENDACIONES	77
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
VIII.	ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación estructural de los silicatos	21
Tabla 2: Ubicación de los puntos de muestreo	32
Tabla 3: Génesis de los suelos del área de estudio	35
Tabla 4: Fisiografía del área de estudio	40
Tabla 5. Clasificación taxonómica (USDA 2022)	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de meteorización de Goldich	20
Figura 2. Diagrama esquemático que resume los criterios de clasificación de suelos en el Sistema de Taxonomía de Suelos	26
Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio	28
Figura 4. Climograma: Periodo 1993-2014.....	29
Figura 5. Precipitación acumulada promedio anual: Periodo 1993-2014	30
Figura 6. Mapa fisiográfico del área de estudio	42
Figura 7. Perfil estratigráfico de los suelos del área de estudio	43
Figura 8. Contenido de M.O. P y K de los suelos fluviales.....	45
Figura 9. Contenido de M.O. P y K de los suelos de la Formación Ipururo	47
Figura 10. Contenido de M.O. P y K de los suelos de la Formación Chambira	49
Figura 11. Capacidad de intercambio catiónico	53
Figura 12. Porcentaje de saturación de bases	54
Figura 13. Contenido de acidez intercambiable	56
Figura 14. Contenido de arcilla	58
Figura 15. Mineralogía del suelo Imprevisto (horizontes Bwt y C).....	60
Figura 16. Mineralogía del suelo Corte (horizontes Bwt y C1-C2)	60
Figura 17. Mineralogía del suelo Brizantha (horizontes Bw y C).....	61
Figura 18. Mineralogía del suelo Silencio (horizontes Bw2 y C-Cc1)	63
Figura 19. Mineralogía del suelo Monte Sinaí (horizontes AC y C1- C2).....	63
Figura 20. Mineralogía del suelo Lupuna (horizontes Bw1-Bw2 y C)	63
Figura 21. Mineralogía del suelo Mojado (horizontes Bw y C).....	64
Figura 22. Mineralogía del suelo Brachiaria (horizontes Bw1-Bw2 y C).....	68
Figura 23. Mineralogía del suelo Hormigas (horizontes Bwt y C)	68

Figura 24. Mineralogía del suelo Shapaja (horizontes Bwt y C1-C2)	68
Figura 25. Mineralogía del suelo Vaca (horizontes Bwt1-Bwt2 y C1-C2).....	69
Figura 26. Mineralogía del suelo Quinilla (horizontes Bw y C)	69
Figura 27. Mapa de suelos del área de estudio	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ubicación geográfica de las calicatas.	84
Anexo 2: Perfil modal de los suelos de Irazola.	85
Anexo 3: Tarjetas de descripción de perfiles de suelos.	108
Anexo 4: Análisis de caracterización de suelos.	120
Anexo 5: Grupos texturales.	123
Anexo 6: Reacción del suelo (pH).	123
Anexo 7: Parámetros que definen la fertilidad del suelo.	123
Anexo 8: Calcáreo total.	124
Anexo 9: Capacidad de intercambio catiónico (CIC).	124
Anexo 10: Salinidad.	124
Anexo 11: Clases de pendiente.	125
Anexo 12: Microtopografía o microrelieve.	125
Anexo 13: Clases de profundidad efectiva.	125
Anexo 14: Permeabilidad.	126
Anexo 15: Drenaje.	126
Anexo 16: Estructura.	126
Anexo 17: Erosión hídrica.	127
Anexo 18: Consistencia.	127
Anexo 19: Datos climatológicos de la estación Maronal-Ucayali.	128
Anexo 20: Distribución del tamaño de partícula.	129
Anexo 21: Análisis de difractograma de las muestras.	131

RESUMEN

Los suelos del territorio amazónico peruano se caracterizan por desarrollarse en un clima tropical con altas temperaturas y fuertes precipitaciones, además de exhibir una gran diversidad de ecosistemas originados por procesos geológicos y climáticos. En la actualidad, la Amazonia vive un proceso de degradación ambiental siendo la degradación de los suelos uno de los más importantes. Por lo tanto, existe la necesidad de realizar estudios de suelos más detallados que nos permita conocer sus características, entender su comportamiento y así poder garantizar su conservación. La investigación tuvo por objetivo conocer la génesis, morfología, mineralogía y clasificación de algunos suelos del distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali; mediante la identificación de los principales procesos de formación del suelo, según su litología, geomorfología, propiedades físico-químicas y mineralógicas. El estudio reúne condiciones metodológicas de una investigación de campo y por su nivel presenta características de un estudio analítico. El área evaluada abarca 1991 hectáreas y se ubica a la margen derecha e izquierda del río San Alejandro. Según su material de origen los suelos se clasifican en fluviales y residuales. Los suelos fluviales se desarrollaron en un paisaje de llanura fluvial del cuaternario y constituye el 10,65 por ciento de la superficie estudiada. Mientras que, en los suelos residuales se distinguen a la Formación Ipururo y Chambira, ambas del Terciario y desarrollados en un paisaje de colinas ocupando el 86,31 por ciento. En cuanto a su morfología se describen doce perfiles que están expresadas por una secuencia de horizontes A/Bw/Bwt/C. Asimismo, los minerales arcillosos dominantes son de tipo 2:1 que incluyen a la montmorillonita y vermiculita, seguido de los minerales de tipo 1:1, todos pertenecientes al grupo de los caolines. Se clasificó taxonómicamente a los suelos siguiendo las reglas propuestas por el USDA (2022), hasta el nivel categórico de Familia. A nivel de Orden el área estudiada está cubierta por Entisols (8,33 por ciento), Inceptisols (46,84 por ciento), Alfisols (32,35 por ciento) y Ultisols (9,45 por ciento). Estos resultados nos permiten conocer la variedad de tipos de suelos y su comportamiento.

Palabras claves: suelos, mineralogía, Soil Taxonomy, Amazonia, Irazola.

ABSTRACT

The soils of the Peruvian Amazon are characterized by a tropical climate with high temperatures and heavy rainfall, in addition to exhibiting a great diversity of ecosystems originated by geological and climatic processes. Currently, the Amazon is undergoing a process of environmental degradation, soil degradation being one of the most important. Therefore, there is a need for more detailed soil studies that allow us to know their characteristics, understand their behavior and thus be able to guarantee their conservation. The objective of the research was to know the genesis, morphology, mineralogy and classification of some soils in the district of Irazola, province of Padre Abad, department of Ucayali; by identifying the main soil formation processes, according to their lithology, geomorphology, physical-chemical and mineralogical properties. The study meets the methodological conditions of a field research and its level presents characteristics of an analytical study. The evaluated area covers 1991 hectares and is located on the right and left banks of the San Alejandro river. Soils are classified as fluvial and residual according to their material of origin. The fluvial soils developed in a Quaternary fluvial plain landscape and constitute 10.65 percent of the area studied. The residual soils include the Ipururo and Chambira Formation, both from the Tertiary and developed in a hilly landscape, occupying 86.31 percent. In terms of morphology, twelve profiles are described that are expressed by a sequence of A/Bw/Bwt/C horizons. Likewise, the dominant clay minerals are of type 2:1 including montmorillonite and vermiculite, followed by minerals of type 1:1, all belonging to the kaolin group. The soils were taxonomically classified following the rules proposed by the USDA (2022), up to the categorical level of Family. At the Order level the studied area is covered by Entisols (8.33 percent), Inceptisols (46.84 percent), Alfisols (32.35 percent) and Ultisols (9.45 percent). These results allow us to know the variety of soil types and their behavior.

Key words: soils, mineralogy, Soil Taxonomy, Amazonia, Irazola.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es el segundo país en el mundo en extensión amazónica con aproximadamente 77 535 348 hectáreas, que representa el 60,3 por ciento de la superficie total del país. La Selva Baja es un gran ecosistema ubicado entre 90 y 500 m.s.n.m., presenta relieve plano con ligeras elevaciones y ocupa la mayor parte del territorio amazónico peruano. Se caracteriza por un clima tropical con altas temperaturas y fuertes precipitaciones. A escala menor, se exhibe una amplia diversidad de ecosistemas originados por procesos geológicos y climáticos (Brack 1990). Sus suelos son muy heterogéneos, casi todos de origen aluvial y niveles bajos de nutrientes.

A pesar de la gran extensión, diversidad y densidad de los bosques amazónicos, en la actualidad, la Amazonia vive un proceso de degradación ambiental que se expresa en deforestación creciente, pérdida de biodiversidad, contaminación de agua y degradación de los suelos. Los bosques no solo brindan beneficios como la captura de carbono y la regulación del ciclo hidrológico, sino que también protegen el suelo de la erosión hídrica, además sirven como protección contra deslizamientos de tierra y mantiene la estructura del suelo. Para poder definir un apropiado uso y manejo del recurso suelo que llevará a establecer un adecuado planeamiento del uso de la tierra, es necesario caracterizar y clasificar los suelos identificando su origen, mineralogía, grado de desarrollo y agruparlos taxonómicamente.

En este contexto, es fundamental realizar investigaciones para conocer la génesis, morfología, mineralogía y clasificación de suelos del trópico húmedo. Identificando los principales procesos de formación del suelo, en función de su litología, geomorfología, propiedades físico-químicas y mineralógicas. Finalmente, agrupar a los suelos usando el sistema de clasificación Soil Taxonomy 2022. Estos estudios permiten entender el grado de desarrollo, diversidad de tipos de suelos y su comportamiento frente a diferentes usos y manejo. Los objetivos del presente trabajo son:

Objetivo general:

- Conocer la génesis, morfología, mineralogía y clasificación de algunos suelos del distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali.

Objetivos específicos:

- Identificar el origen y procesos de formación que determinan el grado de desarrollo de los suelos.
- Identificar y analizar la mineralogía de los suelos y relacionarlos con su grado de desarrollo.
- Clasificar los suelos sobre la base de Soil Taxonomy 2022.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SUELO

El suelo es un cuerpo tridimensional natural que se ha formado en la superficie de la tierra, a través de las interacciones de al menos cinco factores de formación (clima, biota, relieve, materiales parentales y tiempo) (Schaetzl y Anderson 2005). Está compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, ocupa espacio y se caracteriza por uno o ambos: horizontes, o capas, que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia (Soil Survey Staff 1999, como se citó en USDA 2017). Su desarrollo a lo largo del tiempo es el resultado de transformaciones químicas de los materiales de la tierra vinculados a los ciclos de vida de la biota del suelo y las raíces de las plantas (Sposito 2016).

Los suelos están compuestos de partículas clásticas (materia mineral), materiales orgánicos en diversas etapas de descomposición, organismos vivos, agua (o hielo) y gases dentro de poros de varios tamaños (Schaetzl y Anderson 2005). Su composición incluye mediciones químicas, físicas y mineralógicas del material removido (horizontes o capas) adentro de los pedones (Buol *et al.* 2011).

La fase sólida puede ser policristalina o poliamorfa, y según su origen los componentes amorfos y cristalinos pueden ser primarios o secundarios, inorgánicos u orgánicos. Los constituyentes inorgánicos provienen de la meteorización de las rocas y minerales o de las reacciones siguientes entre los productos de meteorización, como resultante se forman coloides inorgánicos de suelo. En volumen los sólidos ocupan alrededor del 50 por ciento de la parte superficial del suelo, y el resto está ocupado por la atmósfera y la solución de suelo. La composición de la atmósfera varía con la profundidad y con sus condiciones físicas (Besoain 1985). El 90 por ciento de la corteza terrestre está compuesto de minerales de silicato, siendo el más importante de la fase inorgánica del suelo (Buol *et al.* 2011).

2.1.1 Suelos tropicales

Los suelos tropicales se pueden definir cuantitativamente sólo como aquellos que carecen de variaciones considerables de temperatura del verano al invierno, es decir, la diferencia entre la temperatura media a una profundidad de 50 cm es menor de 5°C, además de esto, las condiciones responsables de la formación del suelo son tan diversas en el trópico como en las regiones templadas. Gran parte de los suelos del trópico se han formado a partir de material que han sido trabajados desde el Precámbrico por los procesos de erosión superficial y de sedimentación que meteorizan el material intensivamente (Sánchez y Boul 1975).

En el Perú se han reconocido siete regiones edáficas, perfectamente definidas y de características propias. Entre ellas se presenta a la región ferrasólica, que comprende a suelos de la vasta penillanura amazónica o Selva Baja del país, constituida por sedimentos no consolidados del Terciario y Pleistoceno, en el que predominan arcillas caolinitas y arenas cuarzosas. Los depósitos recientes del Cuaternario Holoceno representan una pequeña porción dentro de esta región y tiene una extensión aproximadamente de 60 millones de hectáreas, es decir, alrededor del 43 por ciento del territorio nacional. El potencial se centra en aquellas áreas de condiciones climáticas menos húmedas, donde es posible un desarrollo promisorio de la agricultura a base de cultivos permanentes e intensivos, ganadería y explotación de especies madereras de valor comercial. Asimismo, las zonas más húmedas se caracterizan por la existencia de extensas superficies hidromórficas (Zamora y Bao 1972).

2.2 GÉNESIS DE LOS SUELOS

La génesis del suelo se basa en tres conceptos: como entidad geológica, como producto de factores y procesos de formación, y como un sistema abierto capaz de soportar las funciones del suelo en todos los ecosistemas. Incluye conceptos de biogeoquímica, conceptualiza los factores y procesos responsables de las propiedades químicas, físicas y mineralógicas y la distribución espacial de varios tipos de suelos en el paisaje. Los suelos actuales pueden llevar la huella de una combinación de procesos pedogénicos y geológicos que actualmente no están activos en ese sitio. Por lo tanto, el conocimiento de paleoecología, geología glacial y paleoclimatología es primordial para el reconocimiento y la comprensión de la génesis del suelo (Buol *et al.* 2011).

2.2.1 Factores que forman el suelo

Dokuchaev padre de la ciencia del suelo, fue el primero en afirmar, que los suelos dependen de los siguientes cinco factores de formación: material parental, topografía (relieve), clima, agentes biológicos (plantas, humanos, animales) y tiempo (Legros 2013). Estos factores proporcionan los reactivos y la energía para impulsar los procesos pedógenos en el suelo (Buol *et al.* 2011).

El material geológico inalterado representado por la roca madre o por un material transportado y depositado es conocido como material parental, está compuesto por minerales, que pueden estar consolidados o no, y sufren la acción de otros factores a lo largo del tiempo, manteniéndose en parte inalterados y en parte sometidos a la meteorización física, química o biológica. La influencia del material parental como fuente de minerales se hace más patente en los suelos jóvenes, siendo menos evidente en los más desarrollados (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

Dado que la fuente principal del suelo es la roca preexistente o el material parental, el control sobre la formación del suelo estará relacionado con la susceptibilidad de este material a los procesos de meteorización y los cambios químicos y físicos que los acompañan. Las propiedades físicas (como la dureza, el clivaje, la porosidad y el tamaño de grano) constituyen factores primordiales para determinar si el agua puede filtrarse en una capa de roca para iniciar su desintegración en un material no consolidado, o su descomposición en una constitución mineralógica diferente; las propiedades y características del suelo resultante también estarán directamente relacionadas con el material parental, siendo la mineralogía, granulometría y permeabilidad los rasgos más importantes (Mirsal 2008; Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

El relieve es la configuración física de la superficie del terreno con respecto a la elevación y pendiente. Sus atributos incluyen altitud, condición de drenaje, pendiente (aspecto y configuraciones de convexidad y concavidad) (Moore *et al.* 1993, como se citaron en Buol *et al.* 2011). El relieve conjuntamente con el clima, establece las características de los suelos y de la vegetación (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). La topografía determina la cantidad de agua de lluvia que se filtra en el suelo y, por lo tanto, se suma a la disolución, lixiviación y migración de elementos. También aumenta la

cantidad de agua evacuada a lo largo de la superficie y estimula la erosión y el rejuvenecimiento del perfil en las tierras altas y la pendiente superior, mientras crea acumulación de agua y condiciones hidromórficas en las tierras bajas (Verheye 2008).

Los procesos de meteorización física y bioquímica están directamente relacionados con el clima local, la cual cambia a lo largo del proceso de formación del suelo. La acción del clima es decisiva y está relacionado con el aporte de agua (humedad) y de temperatura. Por otra parte, también influyen factores bióticos (p. ej. la vegetación) y el relieve, condicionando su acción conjunta el contenido en materia orgánica y su grado de evolución en un suelo. En climas tropicales o ecuatoriales muy cálidos y húmedos, se produce una gran cantidad de materia orgánica, esta se degrada rápidamente (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). Los suelos de los trópicos húmedos son profundos y se encuentran fuertemente edafizados o en proceso; la formación y las propiedades difieren en función del régimen de lluvias. Si se desarrollan bajo un clima agresivo, cálido y húmedo, significa que los suelos están húmedos durante todo el año y que las temperaturas son elevadas, con medias mensuales superiores a los 22 °C (Verheye 2008).

La microfauna y la vegetación participan como fuente de materia orgánica pero también como agentes directos de procesos edafogénicos, dado que transforman física, química y biológicamente el suelo, además de transportar, mezclar sus materiales y descomponer la materia orgánica. La influencia de la biota se manifiesta en características como la agregación de partículas, estructura y porosidad. Su participación en la descomposición y calidad de la materia orgánica repercute en la fertilidad del suelo. Asimismo, las plantas protegen la superficie del suelo contra la erosión y favorecen la estructura de éste mejorando la permeabilidad y el drenaje (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

La flora y la fauna, incluida la especie humana, constituyen un factor biótico interno y externo en la formación del suelo (Buol *et al.* 2011). Los procesos y características del suelo pueden ser fuertemente alterados como resultado de la gestión y uso. La eliminación de la vegetación natural o drenaje y la fertilización artificial, son sólo ejemplos de cómo se pueden cambiar las características de éste por la acción humana (Legros 2013).

El periodo necesario para que el material parental evolucione es muy largo, dado que el ritmo de los procesos edafogenéticos es lento, este puede variar entre 0,001 y 1 mm/año, siendo muy rápido en climas cálidos y húmedos, donde la actividad de los organismos es más intensa y la vegetación más exuberante (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). Los suelos tienen edades escalonadas que constituyen una cronosecuencia utilizada para rastrear la evolución pedológica. Las cronosecuencias típicas de los suelos se establecen en terrazas fluviales, marinas y morrenas glaciares (Legros 2013).

La escala de tiempo para la formación del suelo es más corta que la escala de tiempo geológico y más larga que la edad de las especies biológicas. Pocos suelos, si los hay, son más antiguos que el Terciario y la mayoría no más antiguos que la época del Pleistoceno. Aunque los experimentos de laboratorio pueden demostrar que las reacciones y los procesos logran producir características específicas, el curso real de los eventos dentro del suelo no perturbado probablemente nunca se conocerá por completo, porque el impacto acumulativo de los procesos de formación abarca periodos de tiempos largos. Algunas características relativamente permanentes pueden ser producidas por un solo evento episódico y persistir durante milenios, mientras que otras propiedades del suelo requieren tiempos indeterminados para formarse (Buol *et al.* 2011).

Las características litológicas y climáticas, así como los procesos geológicos, geomorfológicos, geográficos e hidrográficos, son factores físicos que, en mayor o menor grado, influyen en la gran diversidad de ecosistemas y suelos en la Amazonia peruana (Rodríguez 1995, como se citó en Barrantes y Glave 2014). Las variaciones en el material original, clima o edad, determinan características específicas de un suelo (Legros 2013). Sin embargo, los humanos alteran tanto los factores como los procesos de formación en sus intentos de mejorar el rendimiento de este para fines específicos. El conocimiento de los procesos de formación ayuda a asegurar la compatibilidad de las acciones humanas y las condiciones ambientales del suelo (Buol *et al.* 2011).

2.2.2 Procesos formadores del suelo

Los suelos se desarrollan de materiales erosionados, no consolidados en la superficie de la tierra, bajo la influencia de la biota y el clima. El suelo no puede formarse de una roca sólida, pero sí, de los subproductos erosionados (Schaetzl y Anderson 2005). Los

procesos de formación de suelos, también son conocidos como procesos pedogénicos y procesos biogeoquímicos (Buol *et al.* 2011). Ciertas acciones de tipo biológico, químico y físico transforman, transportan (translocan) y/o destruyen el material del suelo. Estos procesos pueden variar a lo largo del tiempo, como respuesta a variaciones climáticas o del uso del suelo. Los procesos principales de formación son: adición, remoción, translocación y transformación (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

Las adiciones prevalecen durante los flujos positivos, es decir cuando las sustancias fluyen hacia el perfil del suelo, donde se acumularían. Este proceso puede ocurrir tanto en dirección vertical como horizontal, ya sea en la superficie o en las partes más bajas dentro del cuerpo del suelo y pueden incluir restos de plantas, cuerpos de animales o sus partes, así como, material orgánico formado por la descomposición de moléculas preexistentes (Mirsal 2008). El proceso de acumulación fundamental es el de la materia orgánica y varía como respuesta al tipo de vegetación, tipo de régimen de temperatura y a las condiciones de drenaje, todo lo cual altera las tasas de descomposición dando lugar a capas superficiales oscuras ricas en ésta, denominados horizontes A, o produciendo suelos orgánicos (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). El carbono extraído del aire y los elementos químicos extraídos de toda la profundidad de enraizamiento se depositan en la superficie durante la caída de las hojas o la muerte de la vegetación, enriqueciendo el horizonte mineral, mientras que la parte inferior del solum se agota de nutrientes extraídos por las plantas (Buol *et al.* 2011).

El agua remueve ciertos materiales y los desplaza hasta alcanzar el nivel freático o quedan depositados en horizontes muy profundos. En zonas secas, con balances hídricos deficitarios, las bases y sales no llegan a ser eliminadas del suelo, sino que se acumulan en el subsuelo. Por el contrario, en zonas muy húmedas, sujetas a procesos de lavado (lixiviación), se encuentran suelos muy pobres en nutrientes, puesto que los cationes han sido sustraídos de la solución del suelo, y enriquecidos con cationes insolubles (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). Existe transferencia de material entre los cuerpos del suelo tanto en la superficie (erosión y deposición) como por el flujo de agua subsuperficial (pérdidas y ganancias laterales). Los procesos pedógenos incluyen ganancias y pérdidas de materiales de acuerdo con el carácter geomórfico degradante, agradacional o intermedio del sitio, así como las translocaciones dentro de un cuerpo de suelo (Buol *et al.* 2011). La pérdida de material durante los flujos negativos ocurre

principalmente en cuatro formas: gases, solutos y material particulado, a los que también podemos agregar plantas extraídas (Ellis y Mellor 1995, como se citó en Mirsal 2008).

Los principales procesos de translocación o movimiento se producen desde la superficie hacia el subsuelo y son resultado del lavado (o remoción) parcial de ciertos materiales y compuestos. Los primeros compuestos que se translocan son los carbonatos, su lavado da lugar a un horizonte cámbico. En zonas de acumulación se pueden encontrar horizontes cálcicos y en los casos en que los carbonatos se han cementado, petrocálcicos. La tasa y extensión del lavado están determinadas por la movilidad de un elemento, basada en su solubilidad y el efecto del pH (p. ej., los cloruros y sulfatos son muy móviles, mientras que el titanio es insoluble incluso a pH 2,5); y la percolación, la cual depende del clima, la textura del suelo y la pendiente del terreno.

En los procesos de lixiviación, iniciados por agua que se filtra hacia abajo a través del material orgánico rico en la parte superior del horizonte A, el agua que lleva en solución ácidos orgánicos y agentes complejantes, generados en el humus por la acción bacteriana, realiza un proceso de lixiviación conocido como eluviación. Este proceso potenciado por el ácido carbónico resultante de la descomposición del humus desplaza las bases (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) de los sitios de intercambio de los minerales arcillosos. Estas bases descienden por el perfil del suelo como partículas coloidales, iones disueltos o como iones libres complejados con hidroxilo. La sílice también se lixivía y se disuelve en gran parte como sílice coloidal. Sin embargo, la materia mineral primaria resistente permanece en la parte superior del suelo (Rose *et al.* 1979, como se citó en Mirsal 2008).

Varios procesos pueden tener lugar simultáneamente o en secuencia que se refuerzan o contradicen mutuamente (Rode 1962; Simonson 1959, como se citaron en Buol *et al.* 2011). P. ej. la calcificación y la podzolización operan a la vez en ciertos Udalfs. Por otro lado, las secuencias de procesos ocurren cuando los resultados desencadenan el inicio de un proceso posterior, un ejemplo es la descalcificación de un horizonte de suelo que conduce a la meteorización de otros minerales primarios con contenidos de calcio para producir arcillas, estas pueden dispersarse y translocarse. Los materiales se pueden eliminar de un suelo en agua de filtración (lixiviación). El agua de muchos eventos de lluvia se filtra a poca profundidad, el material disuelto y suspendido en horizontes superficiales transloca a un horizonte subterráneo donde se deposita a medida que las

plantas transpiran (translocaciones dentro del solum) y se pueden formar nuevos compuestos minerales y orgánicos (transformaciones dentro del solum). La actividad de las lombrices de tierra, los insectos, la macrofauna, el desarraigo de los árboles, la contracción e hinchazón y la congelación y descongelación pueden actuar para revertir estas translocaciones hacia abajo y mover el material hacia arriba (Buol *et al.* 2011).

Los procesos de transformación afectan principalmente a la disposición de las partículas sólidas del suelo o a su mineralogía. Las raíces, la macrofauna y los cambios de volumen al humedecerse y secarse provocan su rápida fragmentación en forma de bloques o prismas, resultando en un horizonte cámbico. En suelos arcillosos, si esos cambios de volumen son muy acusados, se producen grandes grietas y estructuras en forma de cuña con caras de fricción. Básicamente en todos los suelos se producen transformaciones minerales por efecto de la meteorización, descomposición o hidrólisis de los minerales primarios como feldespatos, minerales ferromagnesianos o micas y en minerales secundarios como las arcillas, sesquióxidos de hierro y aluminio (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

2.2.3 Suelos según su origen

La mayoría de los materiales parentales del suelo han sido trasladados de su lugar de origen y depositados en otro lugar (USDA 2017). Para el material parental transportado, su origen y modo de transporte han alterado su carácter de donde estaban originalmente. Los orígenes se revelan a través de una comprensión de su sedimentología, mineralogía y geomorfología (Schaetzl y Anderson 2005).

Los materiales transportados y depositados por el agua en las corrientes se denominan aluviales, estos son arrastrados primero por la corriente, transportado y luego depositados; la mayoría se deposita dentro de los canales de la corriente, en las llanuras de inundación, en los deltas y abanicos aluviales (Schaetzl y Anderson 2005).

La mayoría de los depósitos aluviales están estratificados, la arena gruesa, la grava y las piedras más grandes son difíciles de arrastrar al igual que las arcillas, dado que su estructura en forma de placa crea fuertes fuerzas cohesivas. Es más fácil que una corriente arrastre limo que arena o arcilla, la mayoría de las arcillas se sedimentarán en suspensión

solo en aguas tranquilas, mientras que la arena fina requiere velocidades de 1 cm/s para evitar la depositación (Schaetzl y Anderson 2005). La falta de estratificación implica, ya sea, depositación en aguas turbias y turbulentas, y posterior reincorporación, o comúnmente, alguna forma de mezcla post-deposicional (Schaetzl y Anderson 2005).

Los depósitos más jóvenes ocurren en la corriente, aumentando en edad a medida que avanzan a niveles más altos. En algunas áreas el aluvión reciente cubre terrazas más antiguas. Se genera un mejor ordenamiento de los sedimentos cuando los aluviones ocurren en zonas de baja pendiente. En ríos cuyos recorridos son extensos y de baja gradiente, es común que generen superficies pantanosas, estas son áreas de menor energía que se encuentran alejadas del canal principal y están dominadas por sedimentos laminados y más finos (limos y arcillas) que el aluvión más cercano al canal de la corriente (USDA 2017).

En las llanuras aluviales recién formadas, se observa el efecto del material sedimentario sobre la fertilidad del suelo. Los suelos derivados del material de origen en los Andes peruanos son generalmente más fértiles que los originados del mismo material de las llanuras amazónicas (Rodríguez 1995).

La naturaleza de la roca original afecta el material residual producido por la intemperie. El lecho de roca sufre varios cambios a medida que se desgasta, comenzando con la eliminación progresiva de minerales fácilmente resistentes a la intemperie, como el feldespato plagioclasa y la mica biotita (USDA 2017). Todos los materiales sueltos y no consolidados que se encuentran sobre el lecho de roca se conocen como regolitos, ésta puede ser residual (formado en el lugar) y se llama residuo (Short, 1961, como se citó en Schaetzl y Anderson 2005). Los suelos formados sobre material parental muy resistente a la meteorización tendrán normalmente un espesor relativamente menor que los formados sobre paisajes fácilmente meteorizables (Mirsal 2008).

Por su material de origen los suelos del distrito de Irazola pueden estar agrupados en dos: fluviales y residuales.

Los suelos fluviales se encuentran muy próximos a los ríos principales y algunos tributarios en forma discontinua. Constituyen estrechas fajas interrumpidas por

formaciones colinosas; ocupan terrazas bajas de relieve plano que pueden estar sujetas a inundaciones periódicas o eventuales y pueden recibir aportes de materiales fluviónicos recientes (ONERN 1982). Incluye a los suelos que por su cercanía a las orillas de los ríos y por su altura con respecto a él, reciben en forma continua sedimentos frescos y no presentan desarrollo genético (DOMUS 2013).

Los suelos residuales están desarrollados a partir de materiales derivados de la alteración "in situ" de las rocas (DOMUS 2013). Se originan a partir de la meteorización de areniscas y arcillitas ácidas o calcáreas del Terciario. Conforman lomadas y colinas bajas con pendientes desde 8 por ciento hasta 75 por ciento, presentan desarrollo genético y constituyen los suelos de mayor dominancia en el área de estudio (ONERN 1982).

2.3 MORFOLOGÍA DEL SUELO

La morfología del suelo se ocupa de la forma, estructura y organización del material, describe y mide muchas propiedades e incluye la evaluación de partículas y agregados que proporcionan estimaciones de las características de vacío del suelo y propiedades hidráulicas (Lin *et al.* 1999, como se citaron en Buol *et al.* 2011). Estudia el color, la estructura física, las propiedades químicas y mineralógicas; la asociación espacial de materiales en horizontes y la dinámica de temperatura y humedad in situ (Buol *et al.* 2011). Cada suelo tiene una morfología distinta, es todo lo que se puede observar y sentir, comprende no solo "qué hay allí" sino también cómo es "en conjunto" su arquitectura (Schaetzl y Anderson 2005). Las características morfológicas observables son producidas por ciertas combinaciones de procesos pedógenos a lo largo del tiempo y el grado en que se expresa depende de la intensidad y duración del proceso (Buol *et al.* 2011).

La formación del suelo de los trópicos húmedos y subhúmedos siempre tiende hacia una etapa de desarrollo que está en equilibrio con las condiciones ambientales predominantes. Esto sucede mediante una serie de etapas consecutivas y pueden ser monitoreadas a través de cambios en las propiedades morfológicas, fisicoquímicas y mineralógicas. A medida que aumenta la profundidad del perfil, el color de la matriz se vuelve más rojo y la textura más fina, la estructura mejora, pero luego cambia a (pseudo-arena) granos individuales, desarrollándose una secuencia característica de horizontes. Por otro lado, el pH, la capacidad de intercambio de cationes y la saturación de bases disminuyen; y aumenta el

H⁺ (primero) y el Al⁺³ (después) intercambiables, así como la cantidad de Fe₂O₃ libre (Verheye 2008).

La formación del suelo es un proceso gradual. En una etapa inicial, la roca está sujeta a diversos procesos de meteorización, los minerales primarios están parcialmente meteorizados. La saprolita y la roca inalterada se encuentran a una profundidad baja, excepto por una capa superficial (epipedón) y probablemente una capa subsuperficial bien estructurada (horizonte cámbico). El perfil del suelo toma la forma de A/R o A/C/R o A/B/C/R. En la etapa intermedia, el solum se profundiza, la saprolita se encuentra a mayor profundidad y la mayoría de los minerales primarios, excepto los más estables están meteorizados. La fracción arcillosa está dominada por ilita, montmorillonita y caolinita, con una secuencia de horizontes A-Bt-C-R, desaturación parcial y lixiviación de bases. La translocación de arcilla desde la superficie hacia un horizonte B argílico es una característica principal y se refleja por la presencia de capas o revestimientos de arcilla en los agregados estructurales y por un aumento del mismo. Con la edad la estructura se degrada, los revestimientos desaparecen y la transición entre horizontes se vuelve gradual y poco clara. La última etapa, corresponde a la fase que está en equilibrio con las condiciones ambientales actuales, siempre que no estén activos procesos de erosión o rejuvenecimiento (Verheye 2008).

El perfil del suelo es la unidad básica para observar, es una vista lateral del suelo desde la superficie hacia abajo (Buol *et al.* 2011; Tandarich *et al.* 2002, como se citó en Schaetzl y Anderson 2005). Incluye todo el material que ha sido alterado por reacciones químicas, físicas y biológicas. Es difícil determinar a qué profundidad el material deja de exhibir propiedades resultantes de las reacciones relacionadas con su posición cerca de la superficie de la tierra, es decir, ¿Dónde se detiene el suelo y comienza el “no suelo”? Por convención, la taxonomía restringe la clasificación del suelo a las características que ocurren dentro de los 2 metros de la superficie (Buol *et al.* 2011). Según Fassbender y Bornemisza (1987), el análisis químico elemental de los suelos es un poderoso instrumento para su caracterización y comportamiento, a pesar de no ser de utilidad para estimar su fertilidad, es necesario para los estudios de formación de los mismos.

Los primeros científicos del suelo usaron términos como capa, moho vegetal, estrato y nivel para describir estas capas genéticas (Tandarich *et al.* 2002, como se citó en Schaetzl

y Anderson 2005). Una capa formada por procesos pedogénicos que es más o menos paralela a la superficie del suelo se llama horizonte (Shaw 1927, como se citó en Schaetzl y Anderson 2005). El término "capa" se usa en lugar de "horizonte" si las propiedades se heredan del material original, como ocurre en los depósitos sedimentarios. Los horizontes, en contraste, muestran los efectos de la pedogénesis, como, por ejemplo, la destrucción de depósitos sedimentarios y la acumulación de arcilla iluvial (USDA 2017).

Los horizontes son el resultado de procesos geológicos, químicos y biológicos del material parental en el transcurso de la vida del suelo (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). Si la vía evolutiva de un suelo dicta que un determinado horizonte realice ciertas funciones, por ejemplo, acumular materia orgánica durante un largo periodo, esa zona adquirirá características que la distinguen de otras. En sedimentos muy jóvenes que carecen de una cubierta vegetal o en climas extremadamente secos (hiperáridos), es posible que todavía no se hayan formado horizontes. En pendientes pronunciadas, estos se forman lentamente debido a las altas tasas de erosión y la inestabilidad de la superficie (Schaetzl y Anderson 2005).

Los suelos relativamente jóvenes, como los que se originan a partir de los sedimentos de ríos, dunas o cenizas volcánicas, pueden tener horizontes poco diferenciados o incluso carecer de ellos. A medida que aumenta la edad del suelo, los horizontes son generalmente más fáciles de observar; sin embargo, hay excepciones, como los suelos tropicales o en el permafrost. La mayoría de los suelos presentan tres o cuatro horizontes (puede haber más o menos), definidos principalmente por el color, textura, estructura, contenido en materia orgánica y presencia de carbonatos (sus características químicas se pueden medir en el laboratorio). Algunos suelos muestran un cambio gradual de un horizonte a otro, mientras que otros varían de manera más brusca entre ellos (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

El solum es un perfil de suelo incompleto y puede definirse como "el suelo genético desarrollado por las fuerzas de construcción del suelo" (Soil Survey Staff 1975, como se citaron en Buol *et al.* 2011). Consiste en un conjunto de horizontes que están relacionados con el mismo periodo de pedogénesis. Un horizonte A de 10 centímetros de espesor sobre el lecho de roca es, por sí mismo solum. Por lo general, un suelo que consiste solo en material nuevo recientemente depositado no tiene solum (USDA 2017). Asimismo,

comprende los horizontes O, A, E y B. Cualquier porción de la corteza terrestre a la que llegan las raíces de las plantas ha cambiado de material geológico a suelo. Se puede razonar que el solum incluye horizontes afectados por los procesos de formación, pero que el suelo se extiende a una mayor profundidad (Buol *et al.* 2011).

El pedón es el cuerpo de suelo más pequeño que aún conserva la mayor variabilidad (Johnson 1963; Campbell y Edmonds 1984, como se citó en Schaetzl y Anderson 2005). Se extiende hacia abajo, a través de todos los horizontes genéticos, y si estos son delgados, hacia la parte superior del material parental subyacente. Incluye la zona de enraizamiento de la mayoría de las plantas. Un límite inferior del pedón es la roca madre o una profundidad de 2 metros, o lo que sea menos profundo, es aproximadamente poligonal y tiene un área de 1 a 10 metros cuadrados (Schaetzl y Anderson 2005).

Los pedones son demasiado pequeños para exhibir características asociadas con el paisaje en el que se encuentran, como la pendiente y la pedregosidad de la superficie. Para remediar esto, la Soil Survey Staff (1975) creó el concepto polipedón (Johnson 1963, como se citó en Schaetzl y Anderson 2005). El polipedón es la unidad básica de clasificación del suelo, es lo suficientemente grande como para exhibir todas las características consideradas en la descripción y clasificación. Son taxonómicamente puros, es decir, contienen pedones de la misma serie de suelos. Todos los pedones dentro de un polipedón clasifican lo mismo en todos los niveles de la taxonomía del suelo (Schaetzl y Anderson 2005).

2.4 ESTRATIGRAFÍA, EDAD Y CORRELACIÓN

En la evolución de la tectónica andina se ha podido reconocer diferentes eventos de deformación superpuestos que se inicia a principios del Mesozoico y se prolonga hasta el Cuaternario, estas deformaciones han originado levantamientos, plegamientos, fallamientos y por consiguiente discordancias angulares (INGEMMET 1997). El ciclo andino está constituido por una serie de eventos tectónicos, los que han originado las principales características de la cordillera de los Andes. En la zona se ha reconocido la fase Quechua, la cual corresponde a un evento de tipo compresivo que plegó los sedimentos de las formaciones Chambira e Ipururo de edades del Mioceno y Plioceno,

los pliegues son muy amplios, produciendo esta fase fallamientos longitudinales e inversos (INGEMMET 1997).

2.4.1 Formación Chambira

La Formación Chambira consiste en lodolitas marrón rojizas o rojo grises, se intercalan con limolitas y lutitas gris claras y areniscas marrón rojizas a blanco grisáceas, de grano grueso y a veces conglomerádicas. Las lutitas son en algunos lugares limolíticas y contienen capas muy delgadas de limolitas calcáreas con concreciones de caliza, las areniscas son de grano fino masivas y presentan estratificación cruzada (INGEMMET 1997).

No se ha encontrado fauna fósil en esta unidad, sin embargo, Caldas (1985) como se citó en INGEMMET (1997), basándose en estudios palinológicos realizados en Petro Perú por Gutiérrez (1982) como se citó en INGEMMET (1997) le asigna una edad Miocénica pudiendo bajar hasta el Oligoceno, dado su grosor y concordancia con la formación Pozo.

2.4.2 Formación Ipururo

Litológicamente está constituida de la base al tope por areniscas gris marrones, de grano grueso a medio, friables, mal clasificadas, en parte son conglomerádicas con concreciones de areniscas cuarzosas, presenta intercalaciones de lutitas abigarradas, lutitas grises y areniscas blancas a marrón rojizas. En la parte media se observan lutitas rojas con intercalaciones de areniscas gris marrones, en las que se puede apreciar estratificación cruzada y concreciones de areniscas. Las lutitas son limosas, abigarradas, masivas en algunos lugares. La parte superior de la secuencia está constituida por areniscas, gris marrones, lutácea conteniendo en ciertos lugares concreciones redondeadas de areniscas duras, así mismo algunas intercalaciones de lutitas (INGEMMET 1997).

La Formación Ipururo del Plioceno está conformada por areniscas feldespáticas grises, se caracterizan por sus amplios canales, contenidos calcáreos y restos de huesos fosilizados (INGEMMET 1999). Consiste en paquetes limo-arcillitas intercalados con secuencias de areniscas calcáreas muy finas. Desde principios del Cuaternario esta formación fue erosionada por las lluvias y por los ríos que a su vez depositaron sedimentos en las zonas bajas. Los remanentes de la Formación Ipururo no erosionados afloran en las áreas más

elevadas (Goluchowska 2010, como se citó en INGEMMET 1997). Esta Formación descansa sobre la Formación Chambira con una leve discordancia angular y en algunos lugares está cubierta discordantemente por depósitos del Cuaternario. La edad de la Formación Ipururo es considerada como Pliocénica a Miopliocénica (INGEMMET 1997).

2.4.3 Depósitos cuaternarios

Estos depósitos son de naturaleza fluvial, se encuentran ubicados a lo largo de los valles y planicies. Los depósitos fluviales se localizan en las riberas y en el fondo de los ríos, consisten principalmente de gravas gruesas y finas, con arenas inconsolidadas y limoarcillitas (INGEMMET 1997).

2.5 FISIOGRAFÍA

La fisiografía comprende el estudio, descripción y clasificación de las formas del terreno, considerando la geomorfología, geología, climas pasado y actual, hidrología y ciertos aspectos bióticos (incluida la actividad humana). El análisis fisiográfico es un método moderno de interpretación de imágenes de la superficie terrestre que se basa en la relación paisaje-suelo (Centro de Investigación en Percepción Remota, [CIAF] 1997).

La configuración geográfica de las tierras bajas selváticas del país permite diferenciar dos unidades fisiográficas bastante definidas. La primera formada por terrazas bajas inundables que constituyen los depósitos fluviales más recientes y, la segunda unidad conformada por una extensa superficie ondulada a monticulada, de grados diversos de disección por el proceso erosional continuo, que conforman los sedimentos profundos del Terciario y Pleistoceno (Bornemisza y Alvarado 1974). Se han determinado unidades geomorfológicas, sometidas mayormente a procesos de denudación (colinas) y otras que son el resultado de la erosión y donde predominan procesos de acumulación (llanura fluvio-aluvial) (INGEMMET 1997). La fisiografía del distrito de Irazola está representada por dos paisajes: paisaje de llanura y paisaje colinoso que se describen a continuación:

2.5.1 Paisaje de llanura

Está constituida por la gran depresión de superficie plana ligeramente ondulada, generada por el curso del río San Alejandro y su red de tributarios. Sometido a procesos de inundaciones periódicas cuyos efectos están representados en la colmatación de sedimentos recientes holocénicos conformados por arcillas, limos, arenas y gravas de cantos rodados, en los que se encuentran meandros abandonados y terrazas bajas. Incluye también las islas, playones y bancos de arena, en el lecho de los ríos. En las partes ligeramente más altas no inundables, constituidos por rellenos subcrecientes pleistocénicos, se localizan a las terrazas medias y altas (ONERN 1982).

2.5.2 Paisaje colinoso

El paisaje colinoso de la región de Ucayali se caracteriza por presentar superficies con ondulaciones cuyas alturas mayormente no sobrepasan los 300 metros y, por lo tanto, no llegan a alcanzar magnitudes para ser denominadas montañas (MINAM 2013). Las unidades fisiográficas identificadas son lomadas y colinas bajas. Las lomadas se caracterizan por representar una superficie de forma ondulada y de contornos muy suaves que se constituyen en una transición dentro del proceso erosivo entre las terrazas altas y colinas. Presentan alturas que no sobrepasan los 20 metros sobre el nivel de la base local, con cimas redondeadas y laderas cortas, y con pendientes que varían de 8 y 18 por ciento (ONERN 1982).

Las colinas bajas se caracterizan por presentar cimas subredondeadas y laderas largas con pendientes que van desde 18 por ciento a más de 50 por ciento, con ligeras, moderadas y fuertes disecciones como consecuencia de los numerosos entalles y cortaduras originas por los cauces y quebradas que cruzan (ONERN 1982). Presentan un relieve suave y ondulado, y están constituidas por rocas sedimentarias deleznable de las formaciones Neógenas y Paleógenas, su altitud con referencia a la planicie puede variar de 30 a 80 metros (INGEMMET 1997). Este paisaje, litológicamente está conformado por materiales sedimentarios del Terciario, entre los que sobresalen las limolitas, arcillitas, lodolitas, areniscas margosas y en determinadas áreas sobre este material sedimentario, se encuentra reposando una capa de material cuaternario antiguo que por lo general en su porción inferior representa un estrato de gravas, conformando un conglomerado semiconsolidado cuya matriz es de naturaleza arcillosa (ONERN 1982).

2.6 MINERALES CONSTITUYENTES DEL SUELO

Los componentes inorgánicos están representados por un número limitado de especies que en su mayoría tienen estructura definida, aunque en algunos está vagamente determinada (minerales intermediarios y amorfos). La identificación cualitativa y cuantitativa de los minerales y el conocimiento de su estructura permiten explicar las propiedades del suelo y su comportamiento (Besoain 1985).

Mientras que los minerales primarios son formados a altas temperaturas y/o presiones en rocas ígneas y metamórficas, los minerales secundarios son formados a bajas temperaturas y presiones que prevalecen en o cerca de la superficie de la tierra en rocas sedimentarias y en suelos (Jackson 1964, como se citaron en Buol *et al.* 2011). Por lo tanto, el cuarzo podría ser primario o secundario, dependiendo de cómo se forme (Banfield *et al.* 1999, como se citaron en Buol *et al.* 2011). Desde el punto de vista de su composición química se distinguen dentro de los componentes inorgánicos, los óxidos, hidróxidos, carbonatos, sulfatos, fosfatos y silicatos, tanto cristalinos como no cristalinos (Besoain 1985).

Por su origen los minerales del suelo pueden calificarse en primarios y secundarios. Los minerales primarios son aquellos que no han sufrido cambios químicos desde su formación inicial de la lava fundida o de otros procesos que originan las rocas. Estos se encuentran principalmente en las fracciones más gruesas del suelo (arenas y limo) (Fassbender y Bornemisza 1987). No obstante, también se presentan en la fracción arcillosa de suelos levemente intemperizados y son los constituyentes menores de la mayor parte de suelos agrícolas (Bohn *et al.* 1993).

La meteorización cambia la proporción en que están presentes los minerales en los suelos, aquellos que son resistentes se acumulan gradualmente, por ejemplo, el cuarzo, óxidos, hierro, aluminio y ortoclasa. Esta acumulación es más significativa en las fracciones de arena y limo, dado que en las arcillas predominan los minerales secundarios formados en el transcurso de la meteorización. Los suelos más antiguos no tienen minerales primarios debido al prolongado proceso de meteorización (Fassbender y Bornemisza 1987). El índice de estabilidad propuesto por Goldich (1938) ilustra la susceptibilidad a la intemperie química de algunos minerales de silicato comunes. En la Figura 1, se muestra

la secuencia de Goldich en orden de estabilidad creciente de arriba a abajo (Buol *et al.* 2011).

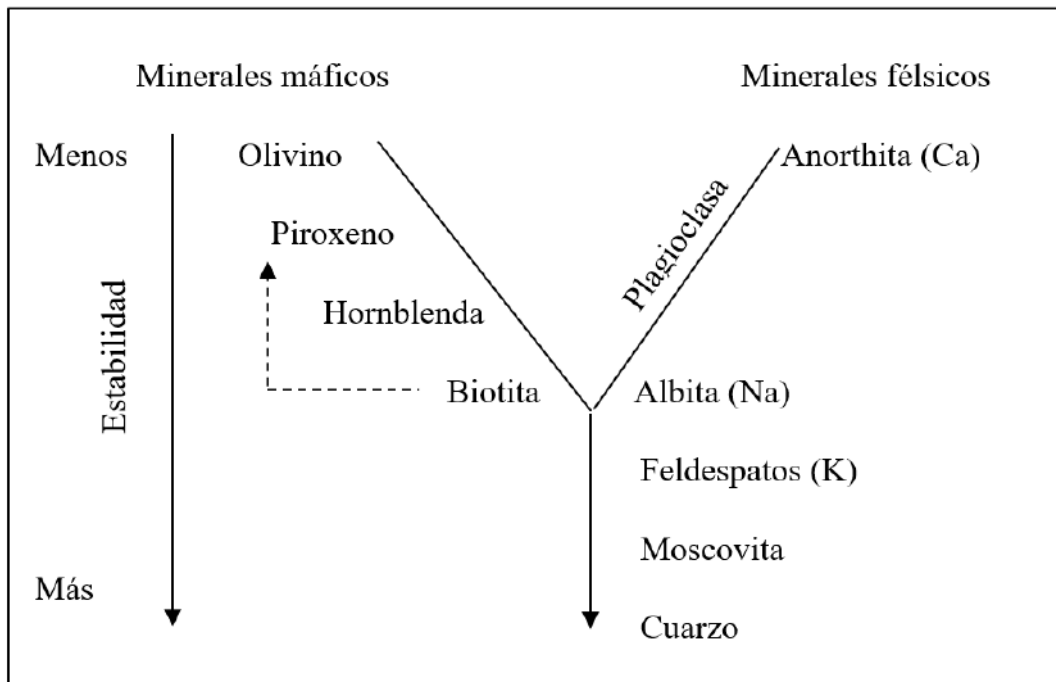


Figura 1. Esquema de meteorización de Goldich

Fuente: Adaptado de Buol *et al.* (2011).

La unidad básica de los silicatos se representa por un tetraedro regular formado por un ion central de silicio y cuatro oxígenos, uno en cada vértice de él. Electrónicamente cada oxígeno satisface un enlace de silicio con los que el tetraedro representa una carga neta de SiO_4^{-4} . Cuando estas cargas se satisfacen con cationes, se forman minerales que se representan por tetraedros individuales. Puede producirse el hecho de una estructura donde varios oxígenos son compartidos por silicios, formándose así tetraedros dobles, anillos o láminas de estos (Fassbender y Bornemisza 1987).

Por lo general, se reconocen seis tipos de silicatos (Tabla 1) del suelo en función de la disposición de los tetraedros de SiO_4 en su estructura:

Tabla 1: Clasificación estructural de los silicatos

Tipo estructural	Clasificación	Distribución estructural	Relación Si:O	Minerales típicos
Tetraedros sencillos	Nesosilicatos	Tetraedros solos	1:4	Olivino, granate
Disilicatos	Sorosilicatos	Dos tetraedros que comparten un vértice	2:7	Hemimorfita
Estructuras de anillo	Ciclosilicatos	Anillos cerrados de tetraedros que comparten dos oxígenos	1:3	Berilio
Cadenas simples	Inosilicatos	Cadenas simples y continuas de tetraedros que comparten dos vértices	1:3	Piroxeno (augita)
Cadenas dobles	Inosilicatos	Cadenas dobles y continuas de tetraedros que comparten alternativamente dos y tres oxígenos	4:11	Anfiboles (hornablenda)
Estructuras de láminas (silicatos laminares)	Filosilicatos	Láminas continuas de tetraedros, cada uno comparte tres oxígenos	2:5	Micas, montmorillonita
Estructuras de armazón	Tectosilicatos	Armazón continua de tetraedros, cada uno comparte los cuatro oxígenos	1:2	Cuarzo, feldespatos, zeolitas

Fuente: Adaptado de Bohn *et al.* (1993).

Minerales diferentes de los silicatos: Los principales grupos son los óxidos y carbonatos, presentándose algunos minerales como los fosfatos y los sulfuros en pequeñas cantidades en la composición de las rocas. Los óxidos son productos fundamentales de la meteorización de los suelos; por otro lado, los carbonatos son particularmente importantes porque forman suelos de buena fertilidad. En regiones húmedas la mayor solubilidad de los carbonatos en relación con los silicatos facilita una meteorización más rápida de estos materiales (Fassbender y Bornemisza 1987).

Entre los sulfatos los más importantes son la anhidrita y el yeso, se acumulan en suelos de áreas desérticas y semidesérticas, y a veces en capas duras de los horizontes B y C (Fassbender 1975). Según Schaetzl y Anderson (2005), los sulfatos que contienen Ca^{2+} , Na^+ o Mg^{2+} son relativamente solubles y ocurren predominantemente en regiones secas. El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es el mineral de sulfato más común en suelos secos y puede ser hereditario o pedógeno.

Los minerales secundarios resultan de la descomposición de los minerales primarios o de la recombinación de los productos que son consecuencia de ella. Con frecuencia son

minerales del orden de las arcillas y por eso se les denomina minerales de arcilla. La meteorización en los suelos se realiza a través de un conjunto de fenómenos de descomposición y de síntesis, ocasionando distintos tipos de compuestos como los óxidos y los silicatos laminares (Fassbender y Bornemisza 1987). Los minerales de arcilla son la fase sólida más abundante y afectan a la calidad del suelo más que cualquier otro componente (Minasny y Hartemink 2011, como se citaron en Ryan *et al.* 2016).

Las precipitaciones hacen que algunos minerales por su solubilidad (p. ej. evaporitas como la sal y el yeso) o su inestabilidad inherente relativa a las condiciones de la superficie (p. ej. silicatos primarios como feldespato, mica, augita, hornblenda y olivino), se disuelvan lentamente dando lugar a productos secundarios como minerales arcillosos (p. ej. caolinita, illita, vermiculita y esmectita), hierro y óxidos de aluminio, carbonatos y nutrientes como calcio y potasio. Los climas más cálidos y húmedos favorecen la formación de minerales secundarios, como las arcillas de tipo 1:1 (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). A continuación, se describen algunos minerales encontrados en ambientes de trópico húmedo.

- a. Las kanditas: Dentro de este grupo se encuentran dos minerales arcillosos muy comunes: la colinita y halloysita. La caolinita es uno de los primeros minerales secundarios observados en la saprolita profunda del trópico húmedo que se desprende de los feldespatos (Sivarajasingham *et al.* 1962; Schaetzl y Anderson 2005). Es típico de suelos antiguos ampliamente meteorizados; se trata de un constituyente común en condiciones tropicales (Fassbender y Bornemisza 1987). Generalmente es un derivado de los feldespatos, ortosa y albita, tiene un alto grado de estabilidad, no es expansible y presenta muy poca sustitución isomórfica en sus hojas tetraedrales y octaedrales, baja capacidad de intercambio de cationes (3 – 10 cmol (+) kg⁻¹ de suelo) dado que pocas veces presenta intercambio isomórfico y el área superficial son típicamente bajos (Fassbender 1975; Schulze 1989). La capacidad de intercambio catiónico depende en gran medida del pH, lo que sugiere que la sustitución isomórfica no es la fuente predominante de la carga (Bohn *et al.* 1993).

Los grupos OH en la superficie de la caolinita permiten una fuerte adsorción de hidróxidos de hierro, uniendo partículas individuales de ella, que pueden alcanzar

el tamaño de la arena la cual contribuye a la formación de una buena estructura física de los suelos. La caolinita tiene dos formas isómeras poco corrientes en suelos: la dickita, que es una forma mejor cristalizada, y la nacrita, con bajo grado de cristalización (Fassbender y Bornemisza 1987). En suelos formados de rocas ígneas los feldespatos se meteorizan formando caolinita, esta también puede ser heredada de material parental como por ejemplo sedimentos de arcilla (Schulze 1989).

La halloysita ha sido identificada en muchos suelos derivados de cenizas volcánicas y en sitios con climas húmedos y secos. Los valores detectados de la capacidad de intercambio catiónico son mayores que los de la caolinita, con 20 a 25 cmol (+) kg⁻¹, en algunos casos la forma más altamente hidratadas del mineral alcanzan hasta 50 cmol (+) kg⁻¹ (Fassbender y Bornemisza 1987).

- b. Las esmectitas: Existen dos tipos de montmorillonita, denominados montmorillonitas de degradación y montmorillonitas verdaderas, estas tienen una relación genética muy diferente. La primera proviene de una degradación extremadamente potente de las micas, mientras que la segunda es el resultado de una neoformación, o en ocasiones de una agradación en un medio neutro rico en sílice y cationes (Duchaufour 1977). Se trata de minerales abundantes en los suelos (Fassbender y Bornemisza 1987). Posee una red expandible, tanto el agua como los cationes pueden penetrar en sus hojas. Los iones de hidroxilo que persisten en la capa octaédrica están encerrados por las capas tetraédricas, los cationes de cambio poseen una fuerza de atracción entre las hojas, pero está demasiado débil para impedir la entrada de agua. Esta facilidad con que el agua entra y sale del espacio entre las hojas produce cambios de volumen. Generalmente las partículas de montmorillonita presentan tamaño de la arcilla fina, diez veces menores que las de caolinita (Thompson y Troeh 1980).

La capacidad de intercambio catiónico varía de 800 a 1200 mmol (+) kg⁻¹ y depende poco del pH; la carga de capa es baja lo que permite que el mineral se expanda libremente y exponga superficie interna y externa, produciendo un área superficial total desde 600 hasta 800 x 10³ m² kg⁻¹, de la cual el 80 por ciento se debe a la superficie interna (Bohn *et al.* 1993). Una propiedad fundamental de las

esmetitas es su poder de adsorción molecular de sustancias orgánicas, que frecuentemente involucra interacción con los cationes cambiabiles en estos minerales y con el agua de hidratación de estos cationes. Esta aptitud para hidratarse depende de los cationes que saturan las cargas de las arcillas (Fassbender y Bornemisza 1987). También presenta alta actividad coloidal, que incluye plasticidad y cohesión, así como una elevada contracción y expansión (Bohn *et al.* 1993).

La montmorillonita se forma en suelos bien desarrollados, las condiciones que facilitan la formación de este mineral son la presencia de bastante humedad en por lo menos un periodo al año y un avenamiento poco eficiente (Fassbender y Bornemisza 1987).

- c. Iilitas y vermiculitas: Estos minerales han sido conocidos como micas hidratadas. Según Jackson (1959) como se citó en Fassbender y Bornemisza (1987), forman parte de una secuencia que comienza con las micas y culmina con la montmorillonita.

Mica \longrightarrow illita \longrightarrow vermiculita \longrightarrow montmorillonita

Las vermiculitas se presentan extensamente en los suelos resultado de la intemperización o alteración hidrotérmica de las micas; su estructura laminar se parece a la de la mica de la cual se deriva el mineral (Bohn *et al.* 1993). Se encuentran en rocas y suelos ricos en magnesio, no es tan abundante como la caolinita, montmorillonita e illita, pero son importantes en suelos donde abunda el magnesio en la época que se formaron sus arcillas. Estas concentraciones de magnesio ocurren con mayor probabilidad en condiciones ligeramente alcalinas. Su presencia en un suelo tiene transcendencia porque los iones de Mg^{+2} en las hojas de agua pueden intercambiar y almacenar cationes disponibles, incluso mayor que la montmorillonita (Thompson y Troeh 1980).

La capacidad de intercambio catiónico varía de 1200 a 1500 mmol (+) kg^{-1} , la CIC depende poco del pH, el área superficial varía de 600 a 800 $\times 10^3 m^2 kg^{-1}$ (Bohn *et al.* 1993). Al humedecerse la vermiculita tiene cierta capacidad de expansión inferior a la montmorillonita (Fassbender y Bornemisza 1987).

La vermiculita se presenta en suelos de climas fríos y calientes, así como secos y húmedos. En los suelos tropicales se encuentra en Alfisoles, Inceptisoles, Spodosoles, Ultisoles y Entisoles (Douglas 1977, como se citó en Fassbender y Bornemisza 1987). Este mineral se presenta en todos los componentes granulométricos de los suelos (Walker 1975, como se citó en Fassbender y Bornemisza 1987).

2.7 TAXONOMÍA DE LOS SUELOS

La Taxonomía de Suelos (Soil Taxonomy) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) es la clasificación oficial de Perú. Se basa en horizontes, materiales y características de diagnóstico para distinguir suelos, así como en los regímenes de humedad y temperatura del suelo. Es un sistema jerárquico que consta de seis niveles: Órdenes, Subórdenes, Grandes Grupos, Subgrupos, Familias y Series (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

La categoría Orden es el nivel más alto (y generalizado) de la taxonomía de los suelos. Su finalidad es agrupar los suelos en función de la presencia (o ausencia) de horizontes o características de diagnóstico, que reflejan los principales procesos de formación del suelo que operan principalmente en grandes regiones fisiográficas. Las distinciones entre órdenes se basan en la evidencia de procesos que son fuerzas dominantes que dan forma al carácter del perfil del suelo. El Suborden ocupa el segundo nivel categórico, agrupa suelos dentro de un orden que tengan alguna propiedad clave que ejerza una influencia controladora sobre los procesos de formación del suelo actualmente activos. Suele consistir en controles climáticos dinámicos como el régimen de humedad o temperatura del suelo, pero en algunos casos incluye la presencia de horizontes diagnósticos específicos, texturas arenosas, capas estratificadas, o acumulación significativa de materia orgánica en el subsuelo (Ditzler 2017).

El Gran Grupo ocupa el tercer nivel categórico, agrupa suelos dentro de un suborden que tienen propiedades similares que afectan al desarrollo del suelo. Estas propiedades suelen ser estáticas, como la presencia de un horizonte de diagnóstico concreto, la temperatura del suelo o las condiciones de humedad y el porcentaje de saturación de bases. El Subgrupo es una unidad taxonómica que ocupa el cuarto nivel categórico, agrupa suelos

dentro de un gran grupo que tienen propiedades compartidas por suelos similares en otras categorías o que tienen propiedades únicas no reconocidas en ninguna otra clase. La Familia ocupa el quinto nivel categórico, se utiliza para agrupar los suelos de un subgrupo que tienen propiedades físicas y químicas similares. Estas propiedades incluyen factores de capacidad (como la textura del suelo, la mineralogía y la profundidad), así como factores de intensidad (como la temperatura del suelo, la reacción y la actividad de intercambio catiónico). Las familias de suelos se definen generalmente por propiedades que se consideran importantes para el uso y la gestión del suelo, como las relacionadas con fines agronómicos o de ingeniería (Ditzler 2017).

Este sistema clasifica a los suelos en doce órdenes basados en tres grupos principales de criterios: un grupo morfológico pedológico fundamentado en las características morfológicas que caracterizan un perfil de suelo en el campo; seguido de las condiciones ambientales que controlan los procesos de formación bajo los cuales se desarrolló el perfil del suelo; y un criterio químico basado en la condición química dominante a lo largo del perfil. Cada uno de estos elementos está representado por propiedades individuales (Mirsal 2008). La Figura 2 resume de manera esquemática la relación entre todos estos elementos de la descripción del suelo.

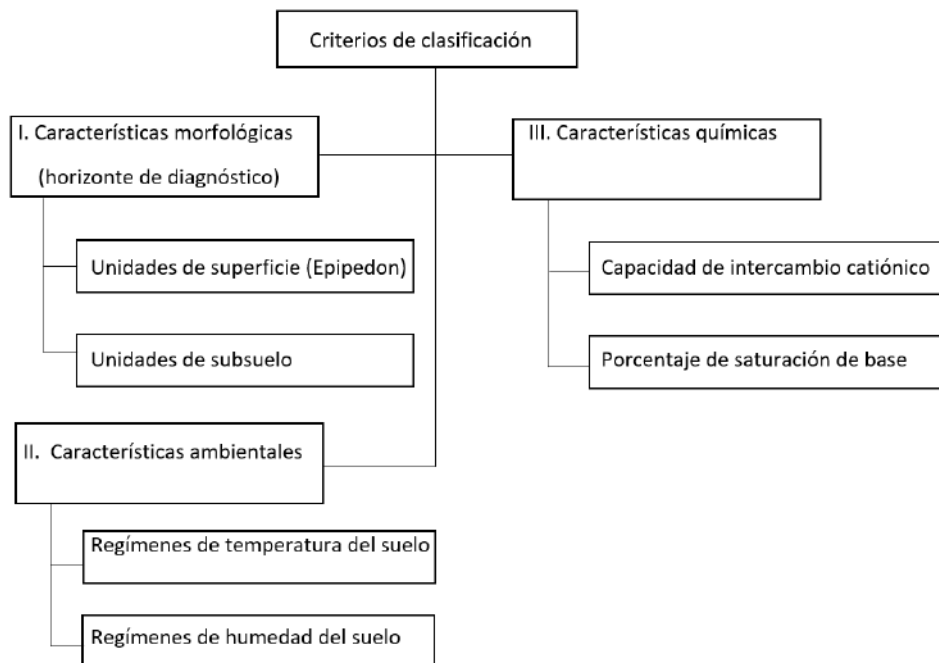


Figura 2. Diagrama esquemático que resume los criterios de clasificación de suelos en el Sistema de Taxonomía de Suelos

Fuente: Adaptado de Mirsal (2008).

Las selva peruana posee siete órdenes de suelos: (1) Ultisoles, son suelos que se caracterizan por presentar colores rojos y amarillos con fertilidad natural baja; ocupan alrededor de dos terceras partes de la selva; (2) Entisoles, son suelos jóvenes con poca diferenciación en el perfil, corresponde el 17 por ciento de la región; (3) Inceptisoles, suelos jóvenes con horizontes A, B y C, y ocupan el 14 por ciento de la selva; (4) Los Alfisoles son similares a los Ultisoles pero tienen menor acidez y mayor fertilidad, ocupan 2.3 millones de hectáreas de los suelos de la selva peruana; (5) Los Vertisoles son suelos arcillosos pesados que se agrietan cuando se secan y se hinchan cuando se humedecen; (6) Los Molisoles son suelos negros derivados de la piedra caliza. y; (7) Espodosoles, son suelos arenosos, ácidos y de baja fertilidad natural (Sánchez y Benites 1983).

En la parte alta de la cuenca amazónica del Perú, se encuentran suelos del orden Ultisoles en asociación con Alfisoles, Inceptisoles y Entisoles. En las posiciones topográficas más altas del llano amazónico, los suelos predominantes bien drenados corresponden al suborden Udult, los cuales son muy ácidos, pero con un horizonte argílico. Sin embargo, en las áreas planas más antiguas, los horizontes A son arenosos, formando los Paleudults típicos. Mientras que, en la parte baja de las colinas y lomas del llano amazónico los suelos mal drenados presentan horizontes con moteaduras grises conteniendo una mezcla de caolinita y montmorillonita como minerales arcillosos predominantes. Los Tropaqualfs se encuentran en zonas depresionadas en las lomas y colinas bajas. Por otro lado, las terrazas bajas y los planos inundables a lo largo de los ríos presentan Entisoles e Inceptisoles. El 65 por ciento de los suelos planos de la Amazonia peruana son Ultisoles, el 3 por ciento Alfisoles y el 31 por ciento Entisoles e Inceptisoles (Benites1985).

En el departamento de Ucayali se han identificado siete Subórdenes de suelos, de los cuales el Suborden Fluvents, Aquents y Orthents pertenecen al Orden Entisols; el suborden Aquepts y Udetps al Orden Inceptisols; el Suborden Udalfs al Orden Alfisols; y el Suborden Udults al Orden Ultisols (Gobierno Regional de Ucayali s.f.).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA EN ESTUDIO

3.1.1 Localización y extensión

El estudio se realizó en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali. Se ubica en la selva oriental al nor-oeste de la región Ucayali, aproximadamente en el kilómetro 113 de la carretera Federico Basadre, con dirección hacia la provincia de Leoncio Prado. Con coordenadas geográficas 8°46'24" S; 75°15'25" O y 8°49'17" S; 75°11'60" O, abarcando un área de 1991 hectáreas, situado a la margen derecha e izquierda del río San Alejandro.

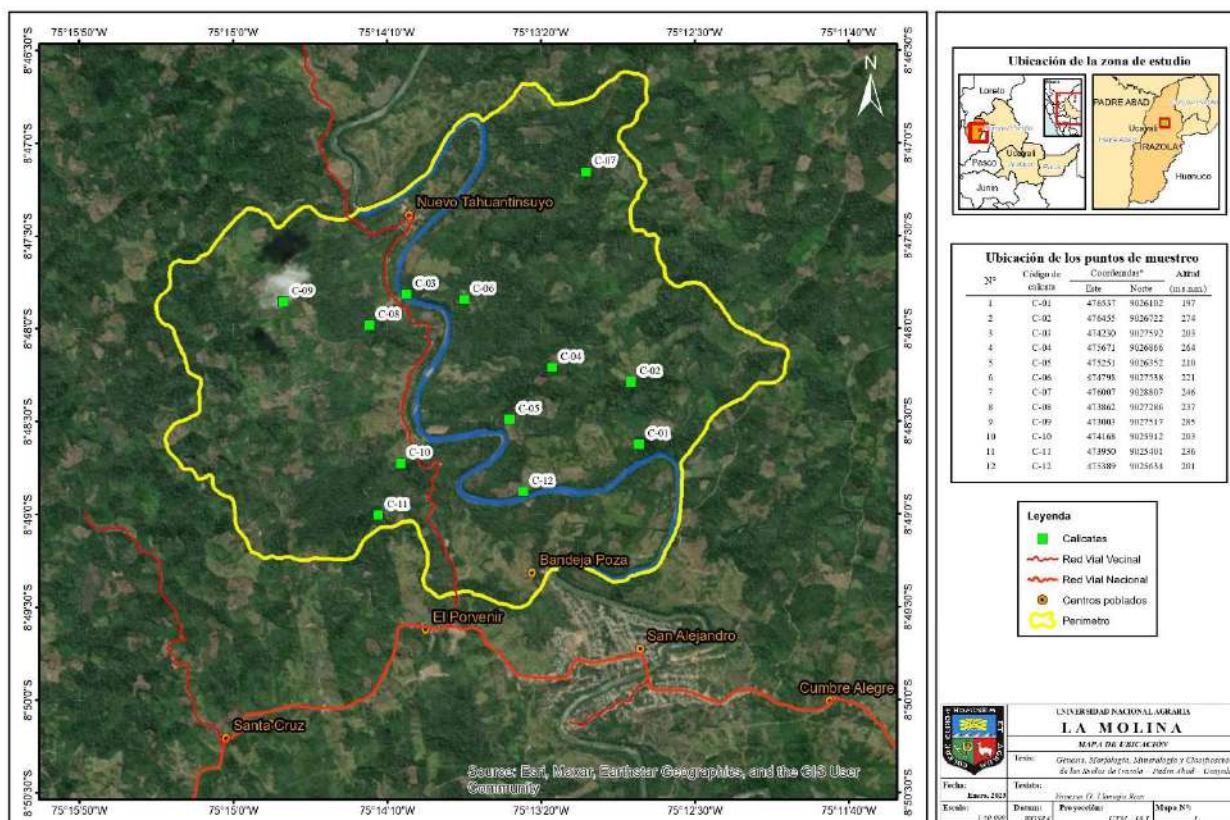


Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio

El área estudiada corresponde a la unidad geográfica denominada llanura amazónica, con altitudes que varían entre los 150-300 m.s.n.m. Forma parte de la región del antearco amazónico, y está constituida por un relieve plano (INGEMMET 1997).

3.1.2 Clima y parámetros meteorológicos

La información de los elementos meteorológicos del área de estudio, se adquirió de la estación El Maronal dentro de un periodo de 21 años (1993-2014), administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI 2022).

El clima se caracteriza por presentar alta humedad y temperatura. La temperatura media anual es de 25,97 °C, con un promedio anual de temperatura máxima de 31,92 °C y mínima de 20,02 °C. En el área de estudio se diferencian dos estaciones, una estación húmeda que se extiende de octubre a abril, y una estación seca entre los meses de mayo a setiembre, el promedio de precipitación acumulada anual es de 1964 mm (1993-2014). El régimen de temperatura determinado es Isohipertérmico y el régimen de humedad es Údico, el suelo está seco como máximo 90 días acumulados al año.

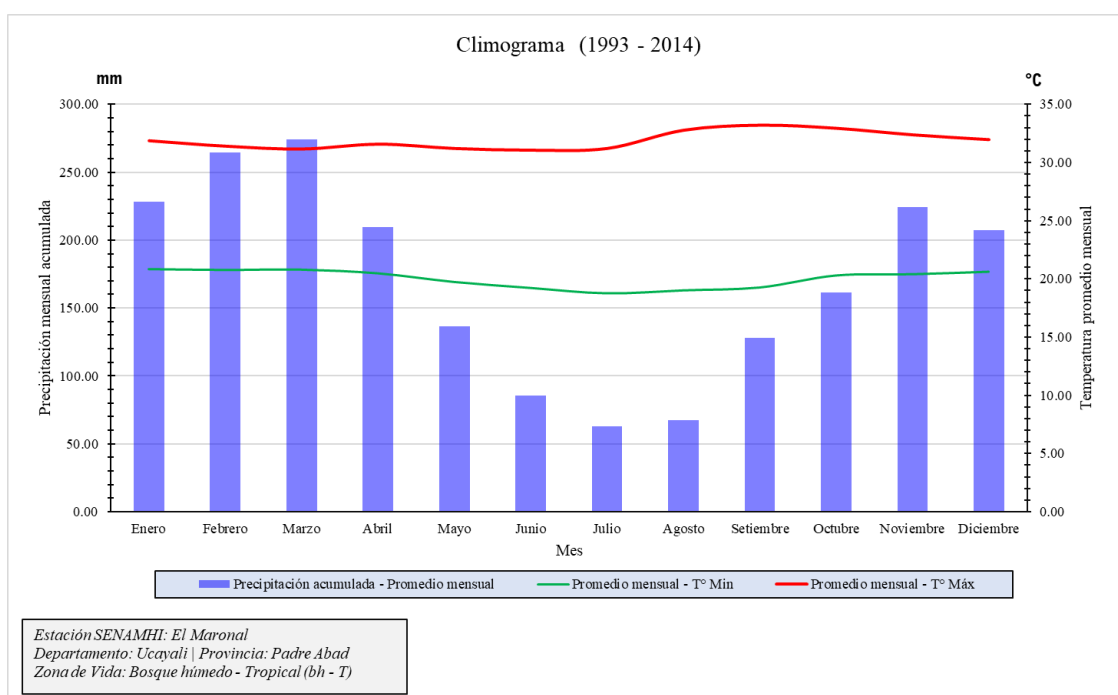


Figura 4. Climograma: Periodo 1993-2014

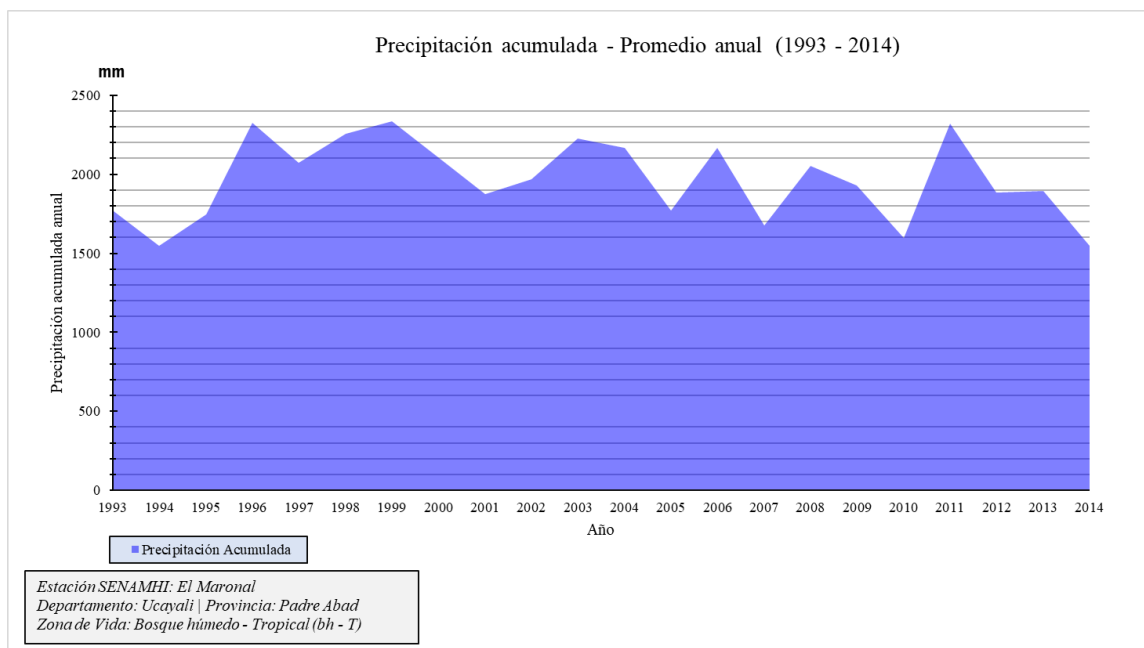


Figura 5. Precipitación acumulada promedio anual: Periodo 1993-2014

3.1.3 Zona de vida

El área de estudio se halla dentro de la zona de vida denominada bosque húmedo -Tropical (bh-T). Se caracteriza por poseer un clima clasificado como húmedo-cálido, con temperatura media anual variable entre 24 °C y 25 °C y precipitación pluvial entre 2,000 y 4,000 mm. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, presenta una evapotranspiración potencial total anual variable entre la mitad (0.5) e igual al (1.0) promedio de precipitación total por año.

3.1.4 Hidrografía

La cuenca del río San Alejandro se encuentra ubicada en los cuadrángulos de Río Nova y San Alejandro; está limitada entre las cuencas de los ríos Aguaytía, Pachitea y Neshuya. Los afluentes de esta cuenca discurren desde colinas de elevación moderada, con drenaje tipo dendrítico. El eje principal lo constituye el río San Alejandro con dirección N-S hasta la confluencia con el río Aguaytía (al norte de la zona de estudio). Entre sus principales afluentes se tienen a los ríos Nova, Chambira, Chío y otros. Todo este drenaje corresponde a la cuenca hidrográfica del Amazonas. (INGEMMET 1997).

3.2 PROCESO METODOLÓGICO

El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación de campo y por su nivel presenta características de un estudio analítico a escala 1:25 000, comprendido en cinco fases secuenciales:

3.2.1 Recopilación de información cartográfica

Se compiló información existente referida al material cartográfico; que fue sistematizada y procesada en el programa Arcgis 10.5, en el cual se asocia la base de datos gráfica y alfanumérica. La información compilada corresponde:

- Curvas de nivel con equidistancia de 10 m.
- Imágenes satélite Spot, de 1,5 m de resolución espacial.

3.2.2 Generación de información temática

Se realizó la corrección geométrica de las imágenes de satélite y la interpretación de las mismas, luego se procedió a la elaboración de un mapa fisiográfico que permitió la identificación y delimitación cartográfica de las unidades o geoformas, correlacionadas con información de los procesos morfogénéticos, composición litológica, pendiente, así como los patrones de drenaje. Como insumos se usó:

- Carta geológica nacional: hojas 18-m, del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico a escala 1:100 000 (INGEMMET).
- Mapa Ecológico ONERN (1976).

Se identificó los puntos de muestreo en campo, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Ubicación de los puntos de muestreo

N°	Código de calicata	Coordenadas*		Altitud (m.s.n.m.)
		Este	Norte	
1	C-01	476537	9026102	197
2	C-02	476455	9026722	274
3	C-03	474230	9027592	203
4	C-04	475671	9026866	264
5	C-05	475251	9026352	210
6	C-06	474798	9027538	221
7	C-07	476007	9028807	246
8	C-08	473862	9027286	237
9	C-09	473003	9027517	285
10	C-10	474168	9025912	203
11	C-11	473950	9025401	236
12	C-12	475389	9025634	201

3.2.3 Generación de información de campo

Mediante un recorrido exploratorio de la zona estudiada, se identificó las unidades fisiográficas ajustando a la fotointerpretación preliminar, teniendo en cuenta la vegetación y rasgos naturales.

Se realizó un estudio sistemático en función de las unidades fisiográficas determinadas para la apertura de calicatas. La caracterización edáfica se ejecutó a través de la evaluación del perfil del suelo mediante la descripción de sus rasgos físicos y morfológicos internos y externos; para ello se excavaron calicatas de 2,0 m de largo x 0,90 m de ancho x 1,50 m de profundidad. Se describió el área circundante del punto de muestreo como relieve y microrrelieve, pedregosidad superficial, erosión, pendiente, material parental y vegetación; así como, las características morfológicas del perfil, incluyendo la descripción del espesor, color, textura al tacto, estructura (tipo, tamaño y grado), consistencia, profundidad efectiva, fragmentos gruesos, moteaduras, nivel freático, drenaje, permeabilidad, presencia de raíces, entre las más importantes. Luego se procedió a la toma de muestras de suelo de cada horizonte identificado, esto con el fin de determinar sus características físico-mecánicas y químicas. Finalmente, se anotaron datos

relacionados con el uso de la tierra, manejo y conservación de suelos, prácticas culturales y otros aspectos relevantes.

3.2.4 Proceso de análisis de muestras de suelo

a. Análisis de caracterización

Este análisis se realizó siguiendo los protocolos utilizados en el laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Las muestras de suelos fueron secadas al aire y desmenuzadas para luego ser pasadas por un tamiz de 2 mm. de diámetro (USDA 1996), y poder determinar:

- Textura: método del Hidrómetro de Bouyucos.
- Carbón orgánico: mediante la oxidación con $K_2Cr_2O_7$ 1N en medio H_2SO_4 , método de Walkley y Black (Nelson y Sommers 1996).
- Capacidad de intercambio catiónico: método del acetato de amonio (NH_4OAc 1N pH 7), (USDA 1996).
- El pH: procedimiento seguido por Thomas 1996, con potenciómetro OrionMod. 420 A, relación 1:1.
- Acidez cambiante: con KCl 1N (Black 1965).
- Cationes cambiables: extracto de acetato de amonio pH 7.
- Fósforo disponible: método Bray I (Bray y Kurtz 1945).
- Potasio disponible: por extracto de acetato de amonio.

b. Análisis mineralógico

El método usado fue difracción de rayos X: Se seleccionaron las muestras más representativas de cada perfil del suelo, teniendo en cuenta su clasificación y fisiografía. Se contó con los servicios del laboratorio de Difracción de Rayos X de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, este equipo es un difractor de marca BUKER, modelo D8-FOCUS. Los resultados de este análisis semi-cuantitativo se expresan en porcentajes aproximados, determinando el tipo de arcilla y otros minerales arcillosos.

c. Análisis especiales:

Se realizó el análisis de distribución de tamaño de partículas (método de Bouyucos).

3.2.5 Clasificación taxonómica de los suelos

Se agruparon a los suelos según la categoría de clasificación de la Soil Taxonomy 2022. Este sistema establece seis categorías en orden decreciente y de acuerdo con el incremento de sus diferencias son: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie. Para el presente estudio, se ha considerado como unidad taxonómica de clasificación el nivel de Familia de Suelos, la determinación de esta categoría se realizó con los resultados del análisis mineralógico y análisis de distribución de tamaño de partículas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 GÉNESIS DE LOS SUELOS DE IRAZOLA

La tabla 3 muestra la interacción de los factores de formación de doce suelos ubicados en el distrito de Irazola, se describe la estratigrafía, edad, geoforma, origen y zona de vida que facilitan el entendimiento de su génesis.

Tabla 3: Génesis de los suelos del área de estudio

Litología superficial		Edad	Geoforma	Origen	Zona de vida	Nombre de suelo
Gravas gruesas y finas, con arenas inconsolidadas y limoarcillitas		Cuaternario - Holoceno	Llanura	Fluvial	bosque húmedo - Tropical	Imprevisto Corte Brizantha
Formación Ipururo	Areniscas gris marrones, intercaladas con lutitas abigarradas, lutitas grises y areniscas blancas a marrón rojizas.	Neógeno - Plioceno	Colinoso	Residual	bosque húmedo - Tropical	Silencio
						Monte Sinaí
Formación Chambira	Lodolitas marrón rojizas intercaladas con limolitas y lutitas gris claras, y areniscas marrón rojizas a blanco grisáceas de grano grueso	Neógeno - Mioceno	Colinoso	Residual	bosque húmedo - Tropical	Lupuna
						Mojado
						Brachiaria
						Hormigas
						Shapaja
						Vaca
						Quinilla

Los suelos Imprevisto, Corte y Brizantha, se han originado a partir de la acumulación de sedimentos fluviales recientes, cuya composición es principalmente una matriz de gravas gruesas y finas, con arenas inconsolidadas y limoarcillitas. Estos se enclavan en una geoforma de llanuras del periodo Holoceno (Tabla 3).

La subducción o desplazamiento de la placa marítima de Nazca por debajo de la placa continental sudamericana activó la formación de la Cordillera de los Andes, que marcó la formación de la Amazonia y permitió la existencia de una gran biodiversidad en ella (Antonelli *et al.* 2009, como se citó en Barrantes y Glave 2014). La gran complejidad de los sistemas estructurales que se manifiesta en la cuenca Aguaytía ha sido ocasionada por los diversos eventos geológicos a través de diferentes periodos, entre los que destacamos el levantamiento subandino ocurrido durante el Plioceno, mientras que en la llanura amazónica estos eventos ocasionaron plegamientos de gran curvatura, basculamientos, fallamientos en bloques; y durante el Pleistoceno las grandes oscilaciones climáticas contribuyeron a modelar el relieve actual, especialmente en la Selva Baja evidenciando desgaste del relieve y la formación de diversas terrazas fluviales. A finales del Terciario el llano amazónico sufre los procesos de allanamiento del relieve y los procesos de erosión se acentúan, truncando en gran parte los sedimentos Terciarios. La evolución continúa en el periodo Holocénico en que se suscita una intensa sedimentación de los depósitos fluvioaluviales y disminución de la intensidad de la acción de los procesos geodinámicos (IIAP 2002).

La cuenca del Amazonas en el Holoceno, se caracteriza por una constante elevación de la temperatura atmosférica (IIAP 2002). Los cambios climáticos más importantes durante el Holoceno Medio fueron asociados a un clima más árido que el actual y a la recurrencia de un fenómeno tipo El Niño entre 7000 y 4000 años AP, sin embargo, no se ha registrado ningún cambio climático importante durante el Holoceno tardío, pero, sí cambios importantes y drásticos en el comportamiento de los ríos. Para el Glacial Tardío (14.000-10.000 años AP) y el Holoceno se registraron fases de sedimentación en varios ríos de la cuenca del Amazonas (Martin *et al.* 1993; Latrubesse y Franzinelli 1995; Latrubesse y Fanzinelli 1998, como se citó en Latrubesse y Fanzinelli 2002). El basculamiento mayor en las márgenes este y oeste del valle, durante el Cuaternario, provocaron el encañonamiento de la parte superior de los tributarios del río Ucayali, mientras que en la parte baja siguió la agradación sedimentaria (Dumont 2022).

Los suelos residuales, se originaron a partir de formaciones del Neógeno – Plioceno (Formación Ipururo) y Neógeno – Mioceno (Formación Chambira). La Formación Ipururo se caracteriza por una estratigrafía de Areniscas gris marrones, intercaladas con lutitas abigarradas, lutitas grises y areniscas blancas a marrón rojizas, cuyo ambiente geomorfológico ha sido modelado dando origen a colinas y lomadas, que ha favorecido el

desarrollo de los suelos Silencio, Monte Sinaí, Lupuna y Mojado. La Formación Chambira difiere estratigráficamente de la Formación Ipururo al estar compuesto por lodolitas marrón rojizas intercaladas con limolitas y lutitas gris claras, y areniscas marrón rojizas a blanco grisáceas de grano grueso, condicionando la formación de los suelos Brachiaria, Hormigas, Shapaja, Vaca y Quinilla (Tabla 3).

Según Campbell *et al.* (2000), como se citaron en Campbell *et al.* (2006) la formación de la penillanura de Ucayali se inició tras el evento tectónico compresivo Quechua I, de principios a mediados del Mioceno de los Andes. Durante el tiempo de formación persistió un periodo de relativa estabilidad en lugar de una continua compresión y levantamiento. No obstante, habría ocurrido algún levantamiento o exhumación, resultante de la rápida erosión (por ejemplo, la remoción de casi 5 km de sedimentos). Pero fue probablemente menor en comparación con lo que siguió durante el evento orogénico Quechua II (Campbell *et al.* 2006). La evolución tectónica de la fase Quechua corresponde a un evento de tipo compresivo que plegó los sedimentos de las formaciones Chambira e Ipururo de edades del Mioceno y Plioceno (INGEMMET 1997).

La distribución del bloque Cenozoico se manifiesta en la cordillera Subandina y en la llanura Amazónica. Están constituidos por secuencias originadas principalmente por procesos denudativos y sedimentados en la última fase de la Orogenia Andina ocurrida durante el Terciario y Cuaternario. El Mioceno Inferior a Plioceno se encuentra representado por sedimentos clásticos y pelíticos de secuencias de areniscas y lodolitas de tonalidades rojizas, denominados capas rojas continentales superiores pertenecientes a la Formación Ipururo (MINAM 2013; IIAP 2002).

De los procesos anteriormente descritos resulta el modelamiento de dos geoformas identificadas en el área de estudio (Llanuras y colinas) (Tabla 3). La morfología actual de la región Ucayali se debe a la acción de procesos geodinámicos internos o externos ocurridos en determinados periodos geológicos; sin embargo, estos procesos actualmente continúan modificando la topografía de la zona (MINAM 2013). El tiempo también es un factor fundamental. Los suelos de origen reciente, ubicados en las terrazas bajas de los principales ríos, son los más jóvenes y en general los más fértiles, en comparación con los suelos de colinas que son las áreas más antiguas, más evolucionados y generalmente ácidos y de baja fertilidad natural (Rodríguez 1995).

Las condiciones climáticas están marcadas por una zona de vida de bosque húmedo-Tropical, sus características condicionan el desarrollo de diferentes comunidades vegetales e influyen en los patrones de erosión y propiedades morfológicas de los suelos (Tabla 3).

El clima es otro factor que mayor influencia tiene en la formación de suelos en la Amazonia y se caracteriza por presentar elevadas temperaturas y fuertes precipitaciones. La temperatura media anual varía de 22,5 a 27,2 °C y la precipitación media anual oscila entre 602 y 3411 mm (Rodríguez 1990, como se citó en Barrantes y Glave 2014). En el llano amazónico con altitudes entre 145 y 160 m.s.n.m. con una topografía plana y abierta, el clima es de tipo húmedo y cálido (1,900 mm y 25 °C). El grado de oscilación térmica es bastante reducido. Todas estas condiciones climáticas dan como resultado a ambientes de alta vigorosidad vegetal (ONERN 1966). A su vez, favorecen la evapotranspiración, además, acelera la descomposición y desaparición de los residuos orgánicos, lo que está asociado al mismo tiempo con el decrecimiento del contenido de materia orgánica de los suelos (Zavaleta 1992, como se citó en Barrantes y Glave 2014). No obstante, en ocasiones sucede que el microclima que se da en la superficie del suelo es muy diferente del clima regional y puede estar determinado por la topografía (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

El tipo de vegetación que crece en un espacio geográfico está determinado por el clima, la elevación, el suelo y la clase de drenaje (Zavaleta 1992, como se citó en Rodríguez 1995). La vegetación en la Amazonia está constituida por bosques densos perennifolios propios de los trópicos, ocurriendo variaciones de composición florística y fisonómica debido a las diferencias fisiográficas que pueden causar cambios edáficos y consecuentemente la vegetación. Los diferentes tipos de bosque encontrados en la región Ucayali en áreas tanto aluvial como en el sistema colinoso, se caracteriza por estar dominada de árboles y otras formas como palmeras y cañas que no pierden sus hojas en ninguna época del año y generalmente con brotes foliares sin protección contra la sequía (GOREL 2004, como se citó en GORE-U 2006). De manera similar IIAP (2002), indica que, en zonas de relieves colinosos y de terrazas, existe una mayor distribución de especies con vegetación arbórea dominante, de fustes grandes y rectos.

El papel de los organismos no puede discutirse aparte del efecto de control climático, porque están relacionados con condiciones biogeográficas, además del trabajo mecánico realizado

por roedores y animales de madriguera, las reacciones químicas desencadenadas por bacterias y raíces de plantas, desempeñan un papel crucial en el proceso de formación del suelo (Mirsal 2008). La macrofauna puede moverse más fácilmente y es un buen regulador de la descomposición de materia orgánica y otros compuestos. También afecta la estructura del suelo al formar macroporos, excavar galerías y expulsar los moldes y gránulos que a menudo son componentes básicos de macroagregados bien desarrollados. Los principales organismos de la macrofauna que habitan en los suelos tropicales son las lombrices de tierra, las termitas y las hormigas; su ocurrencia depende en gran medida del tipo de vegetación (Verheye 2008).

Un factor adicional considerable es la actividad humana. Los procesos y características del suelo pueden ser fuertemente alterados como resultado de la gestión y uso del suelo. La eliminación de la vegetación natural, el drenaje o fertilización artificial son sólo ejemplos de cómo se pueden cambiar las propiedades del suelo por la acción humana (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

En la tabla 4 se detalla la fisiografía del área de estudio, especificado según sus categorías de Paisaje, Subpaisaje y Elemento de Paisaje. La llanura o penillanura amazónica se extiende al este de la cordillera oriental y se encuentra drenada por el río Amazonas, esta zona presenta rasgos o relieves topográficos planas o con muy escaso relieve (ONERN 1966). La llanura del Ucayali se desarrolla al este del alineamiento montañoso subandino, presentando un relieve suave ondulado donde se exponen planicies fluvioaluviales, lomadas y sistemas colinosos; y esta drenada principalmente por el río Aguaytía que desemboca en el río Ucayali. Las acumulaciones de sedimentos están constituidas por arcillas, limos, arenas y conglomerados aluviales; todas de facies continentales, probablemente originadas por la fuerte erosión y la acción de los procesos geodinámicos que ocurrieron y afectaron las zonas cordilleranas y aledañas, que afloran por encima de las unidades terciarias y pleistocénicas (IIAP 2002).

Tabla 4: Fisiografía del área de estudio

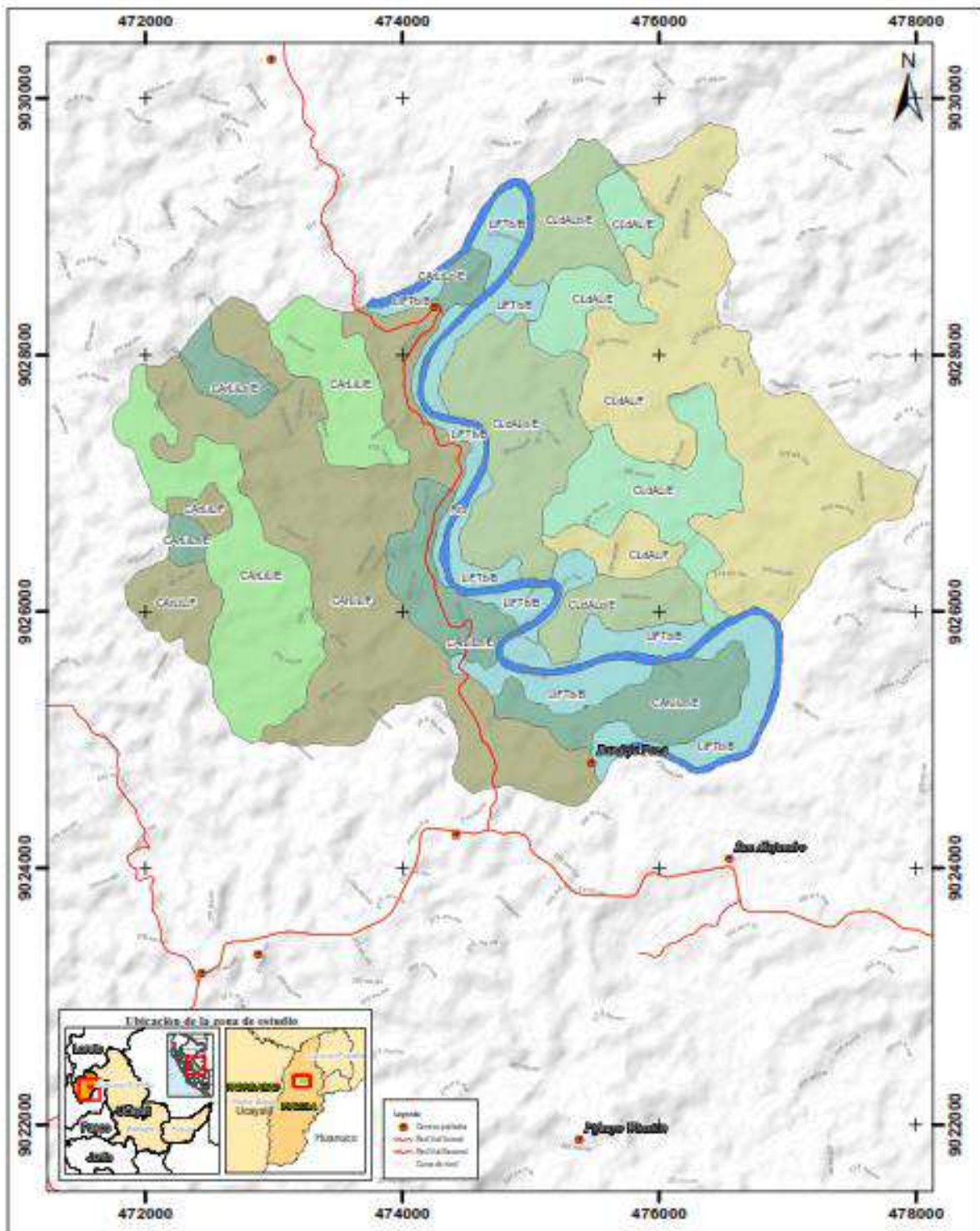
Nombre de suelo	Paisaje	Subpaisaje	Elemento de paisaje (porcentaje)	Simb_Fisio
Imprevisto			Ligeramente inclinada 2-4	LIFTb/B
Corte	Llanura Fluvial	Terraza baja	Ligeramente inclinada 2-4	LIFTb/B
Brizantha			Ligeramente inclinada 2-4	LIFTb/B
Lupuna	Colina de	Lomada	Moderadamente empinada 15-25	CArLiLo/E
Silencio	areniscas y	Ladera de	Moderadamente empinada 15-25	CArLiL/E
Monte Sinaí	limolitas del	colina	Empinada 25-50	CArLiL/F
Mojado	Plioceno		Empinada 25-50	CArLiL/F
Vaca		Lomada	Moderadamente empinada 15-25	CLdALo/E
Shapaja	Colina de		Moderadamente empinada 15-25	CLdAL/E
Brachiaria	lodolitas y	Ladera de	Empinada 25-50	CLdAL/F
Hormigas	areniscas del	colina	Empinada 25-50	CLdAL/F
Quinilla	Mioceno		Empinada 25-50	CLdAL/F

Los suelos Imprevisto, Corte y Brizantha, se han desarrollado en un paisaje de llanura fluvial, subpaisaje de terrazas bajas y como elemento de paisaje se distinguen las terrazas bajas de pendiente ligeramente inclinada. El paisaje aluvial de la región Ucayali está conformado por sedimentos aluviónicos tanto recientes como antiguos, provenientes de los materiales acarreados por los ríos y quebradas, que han sido depositados en el Cuaternario. Las llanuras de sedimentación están constituidas por un conjunto de terrazas cuya altura no permiten sea inundables. Se diferencian entre sí por su relieve, que varía de plano a ondulado. Las terrazas bajas presentan escaso relieve con pendientes entre 0 y 2 por ciento, tienen una altura de 4 metros o más sobre el nivel del río (MINAM 2013). La llanura fluvial de la subcuenca Aguaytía, se caracteriza por presentar superficies planas formadas por la acumulación de sedimentos aluviales depositadas en diferentes épocas del Holoceno (IIAP 2002).

También se ha identificado paisajes de colinas que tuvieron su origen a partir de materiales del período Neógeno. Como subpaisaje se encuentran lomadas y laderas de colinas de pendiente moderadamente empinada a empinada. En las lomadas se ha logrado reconocer al suelo Lupuna, desarrollado a partir de areniscas y limolitas y el suelo Vaca desarrollado a

partir de lodolitas y areniscas. Las laderas de colinas de areniscas y limolitas son ocupadas por los suelos Silencio, Monte Sinaí y Mojado, así como los suelos Shapaja, Brachiaria, Hormigas y Quinilla, se ubican en laderas de colinas de lodolitas y areniscas. El paisaje colinoso de la penillanura Amazónica está formado por colinas y lomadas, constituido por arcillitas, lodolitas y lutitas, con pendientes dominantes entre 25 y 50 por ciento (IIAP 2002). Su origen ha sido generado por la acción tectónica, habiendo desempeñado un papel significativo la acción erosiva de la precipitación pluvial sobre la antigua llanura, cuyo material arcilloso consolidado (lutitas, limonitas, lodolitas y areniscas) permitió su formación y conservación. Las colinas bajas se caracterizan por presentar cima convexo, con pendientes que varían entre 18 por ciento a más de 50 por ciento y presentan una altura de 15 a 20 metros respecto a su base (MINAM 2013). Las lomadas se caracterizan por tener una superficie de forma ondulada y de contornos muy suaves que se constituyen en una transición dentro del proceso erosivo de terrazas altas a colinas. Su altura no sobrepasa los 20 metros sobre el nivel de la base local, con cimas redondeadas y laderas cortas, y pendientes que oscilan entre 8 y 18 por ciento (ONERN 1982).

En la Figura 6 se presenta el mapa fisiográfico del área de estudio. El paisaje de llanura fluvial ocupa el 10,65 por ciento, seguido de las colinas de lodolitas y areniscas con un 41,52 por ciento y por último las colinas de areniscas y limolitas que ocupan el 44,79 por ciento. La diferencia del territorio corresponde a áreas misceláneas. Los suelos de mayor dominancia son de origen residual y se desarrollan en un paisaje de colinas.



Factores fisiográficos						
Fisiografía	Indicador	Elemento de paisaje	Medida	Unidad de medida	Valor	Color
Cuenca del río de los Hornos	Tercera legua	Límite de cuenca	8	37130	10,00	38417
		Medioambiente	3	7444,0	39,75	4375
Valles de inundación y hondonadas de Planetas	Cadenas de colinas	Deposito	8	7444,0	37,80	43405
		Deposito	7	7444,0	55,75	21075
Valles de hondonadas y cuencas de Manzanillo	Cadenas de colinas	Deposito	8	7444,0	28,50	42345
		Deposito	7	7444,0	58,75	4275
Hondonadas			8	7444,0	38,00	28275
Río			8	7444,0	100,00	4375
Total			8	7444,0	296,25	38417


	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA		
	LA MOLINA		
MAPA DE FISIOGRAFÍA			
Título: <i>Génesis, Morfología, Mineralogía y Clasificación de los Suelos de Nueva - Padre Abel - Umayal</i>			
Fecha: Enero, 2025		Autor: <i>Vanesa G. Llanto Ríos</i>	
Escala: 1:50.000	Dato: 000004	Proyección: UTM - 18 S	Mapa N°: 2

Figura 6. Mapa fisiográfico del área de estudio

4.2 MORFOLOGÍA DE LOS SUELOS DE IRAZOLA

En la Figura 7 se observan los perfiles estratigráficos de los suelos de Irazola, agrupados según su material de origen. Se muestra además la profundidad, horizontes genéticos, los horizontes de diagnóstico y las características de diagnóstico.

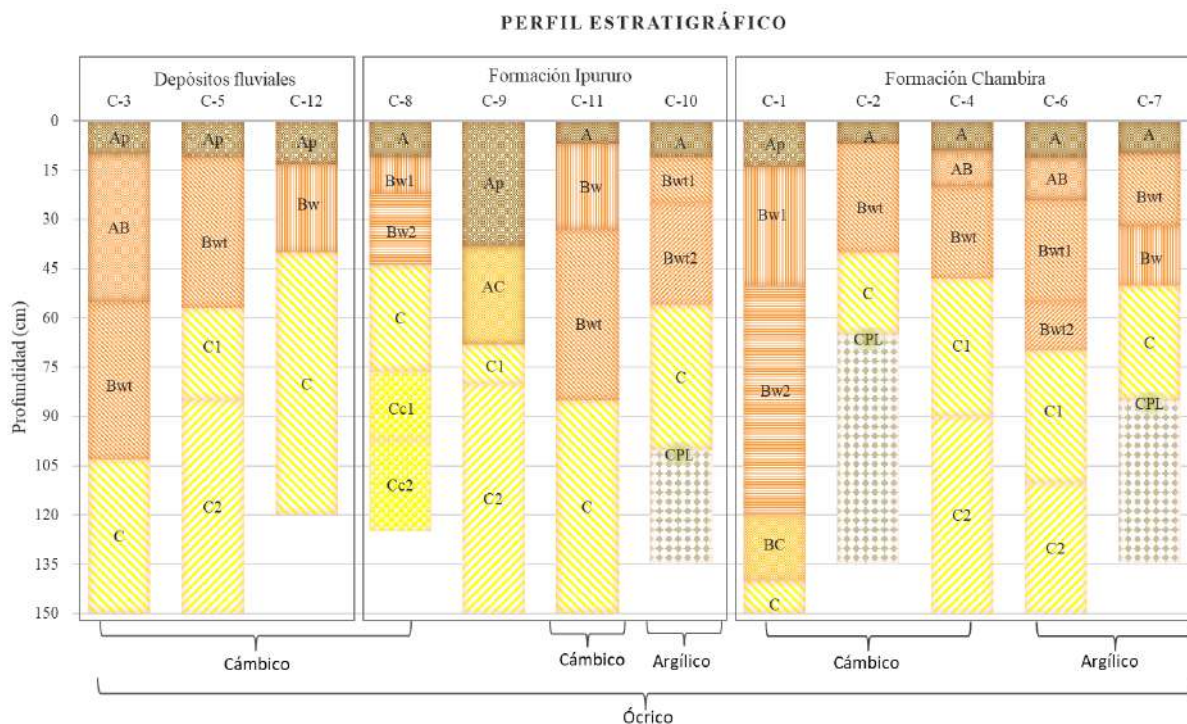


Figura 7. Perfil estratigráfico de los suelos del área de estudio

De acuerdo con los datos meteorológicos del área estudiada (Anexo 19), se ha determinado que los suelos registran un régimen de temperatura Isohipertérmico y el régimen de humedad Údico. El clima húmedo tropical, se caracteriza por constantes temperaturas altas, precipitaciones frecuentes y abundante, y humedad elevada. En estas condiciones la meteorización química, la lixiviación y la translocación se combinan para dar lugar a una gran variedad de suelos. Las propiedades morfológicas y físicas de los suelos relacionados con el contenido y la calidad de las arcillas, la materia orgánica, color, textura, estructura o permeabilidad, se ven influenciadas por el clima. La geología de la roca madre influye también sobre las características químicas del suelo (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). Por lo tanto, los procesos de formación de suelo marcan a mayor velocidad en climas tropicales lluviosos, debido al movimiento descendente casi continuo del agua y a las temperaturas constantemente altas (Sánchez 1981).

Los procesos de meteorización y de transporte influyen en el grosor de la cubierta residual en una ladera. De manera que, en laderas con meteorización limitada el residuo es superficial, sin embargo, en laderas de transporte limitado y meteorización elevada, el residuo es profundo (Schaetzl y Anderson 2005). Los suelos de los trópicos húmedos son moderadamente profundos, están fuertemente erosionados, de colores rojos o amarillentos y no tienen límites muy marcados entre sus horizontes (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). Asimismo, los suelos de Pucallpa presentan propiedades similares al del área de estudio, así como colores pardos rojizos, suelos ácidos con elevado contenido de aluminio cambiante y contenidos bajo en nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica (COTESU y DGFF sf, como se citó en GORE-U 2006).

4.2.1 Morfología de suelos fluviales

Los suelos con material parental fluvial (Imprevisto, Corte y Brizantha) describen una secuencia de horizontes Ap/Bw/Bwt/C. Identificando como horizontes de diagnóstico un epipedón ócrico y un horizonte subsuperficial cámbico (Figura 7). Se distinguen grupos texturales que varían de fina a media. Son suelos de colores pardos con evidencia de moteaduras en algunos perfiles. Han desarrollado una estructura de forma granular y de bloques subangulares, estas características evidencian desarrollo genético, los horizontes inferiores no presentan estructura (masiva). La consistencia varía de friable a firme, con presencia de raíces finas, son suelos profundos y el drenaje varía de moderado a bueno (Anexo 2).

Sus características químicas están expresadas por una reacción muy fuertemente ácida a moderadamente ácida (pH: 4,6 a 6,0), sin presencia de carbonatos. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) presenta valores de bajo a alto (9,60 a 38,40 cmol (+) kg⁻¹) y el porcentaje de saturación de bases es bajo a alto (32 a 100 por ciento) (Anexo 4). El contenido de materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponible determinan que sean suelos de fertilidad natural baja a media (Figura 8).

De acuerdo con ONERN (1982), los suelos aluviales se caracterizan por ser suelos profundos, de textura media a moderadamente fina, buen drenaje y de reacción neutra a fuertemente ácida. Encontrándose también que, en algunas terrazas bajas el drenaje varía de

moderado a imperfecto (MINAM 2013). Los suelos de la llanura fluvial de la subcuenca Aguaytía son moderadamente profundos en terrazas bajas, el color varía de pardo grisáceo

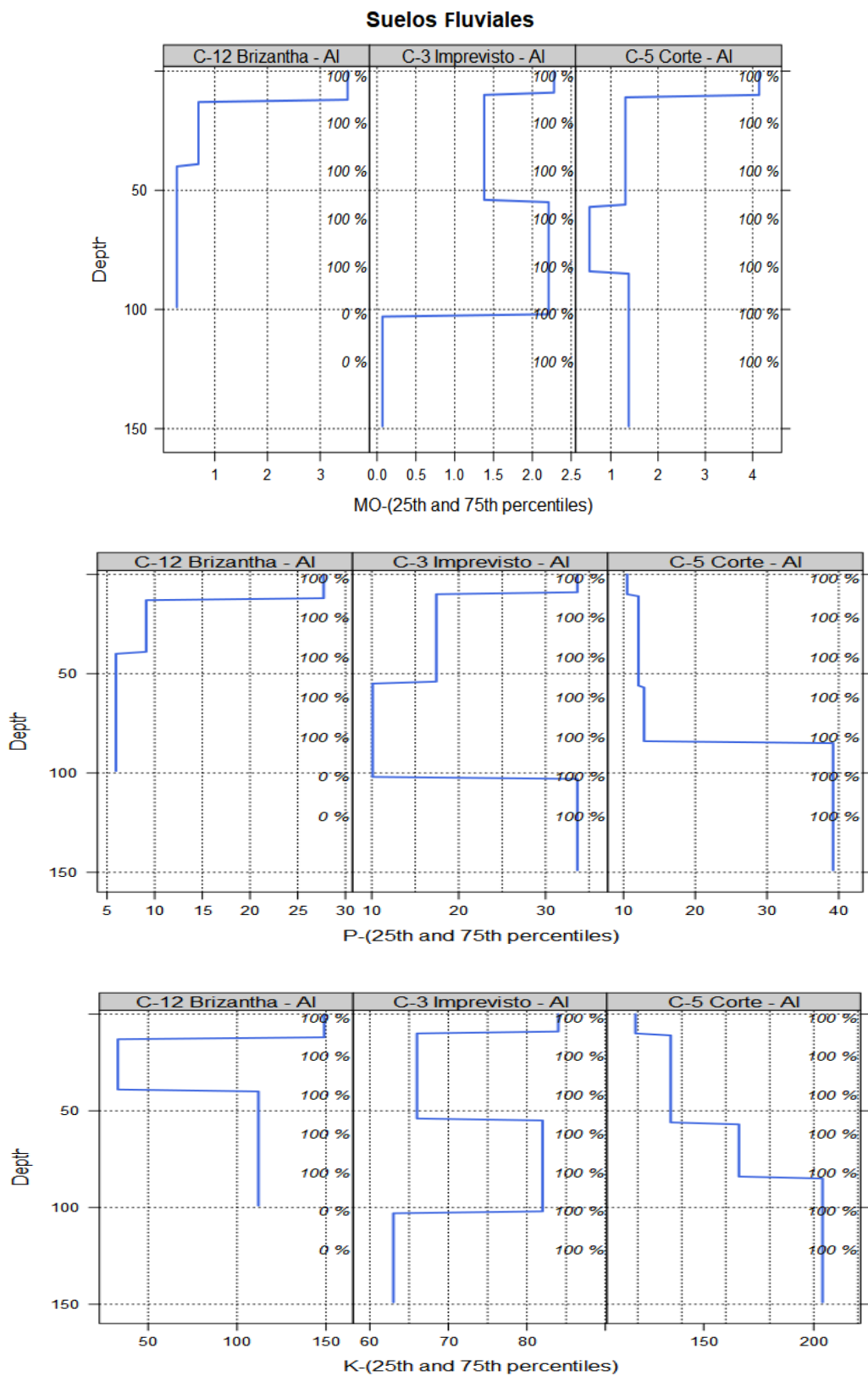


Figura 8. Contenido de M.O. P y K de los suelos fluviales

muy oscuro a pardo amarillento, de reacción moderadamente ácida a moderadamente alcalina, bajo contenido de materia orgánica, alta saturación de bases y baja saturación de aluminio (IIAP 2002). En terrazas de menor altura que escasamente superan los 10 metros, la presencia del horizonte B puede no estar muy clara debido a que los materiales que los forman son aún de escaso desarrollo (DOMUS 2013). Por otro lado, puede darse el caso que estos suelos identificados de origen fluvial sobreyazcan a materiales coluviales aportados por las colinas adyacentes. Esto permitiría explicar la similitud de características con los suelos de origen residual. Un estudio litológico detallado ayudaría a entender con mayor precisión el origen de estos suelos.

4.2.2 Morfología de suelos de la Formación Ipururo

Los suelos de material parental residual pertenecientes a la Formación Ipururo (Silencio, Monte Sinaí, Lupuna y Mojado) describen una secuencia de horizontes predominante de A/Bw/Bwt/C/Cc seguido de Ap/AC/C. Presentan como horizontes de diagnóstico un epipedón ócrico y un horizonte subsuperficial cámbico y argílico con evidencias de películas de arcilla. Como característica de diagnóstico se ha identificado contacto paralítico (Figura 7).

Son suelos con grupos texturales que varían de fina a gruesa. De color predominantemente pardos, seguido de grises y negros, encontrándose que en algunos perfiles se evidencia la presencia de moteaduras. La estructura es de forma granular y bloques subangulares, evidenciando así desarrollo genético. Los horizontes inferiores no muestran desarrollo de estructura (masiva). La consistencia es suelta a firme con presencia de raíces que varían de muy finas a gruesas. La profundidad efectiva es de moderadamente profunda a profunda y el drenaje es moderado a algo excesivo (Anexo 2).

Sus características químicas están expresadas por una reacción muy fuertemente ácida a neutra (pH: 4,7 a 6,6), sin presencia de carbonatos. La capacidad de intercambio catiónico presenta valores de bajo a alto (7,68 a 35,84 cmol (+) kg⁻¹) y el porcentaje de saturación de bases es medio a alto (66 a 100 por ciento) (Anexo 4). El contenido de materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponible determinan que sean suelos de fertilidad natural baja a media (Figura 9).

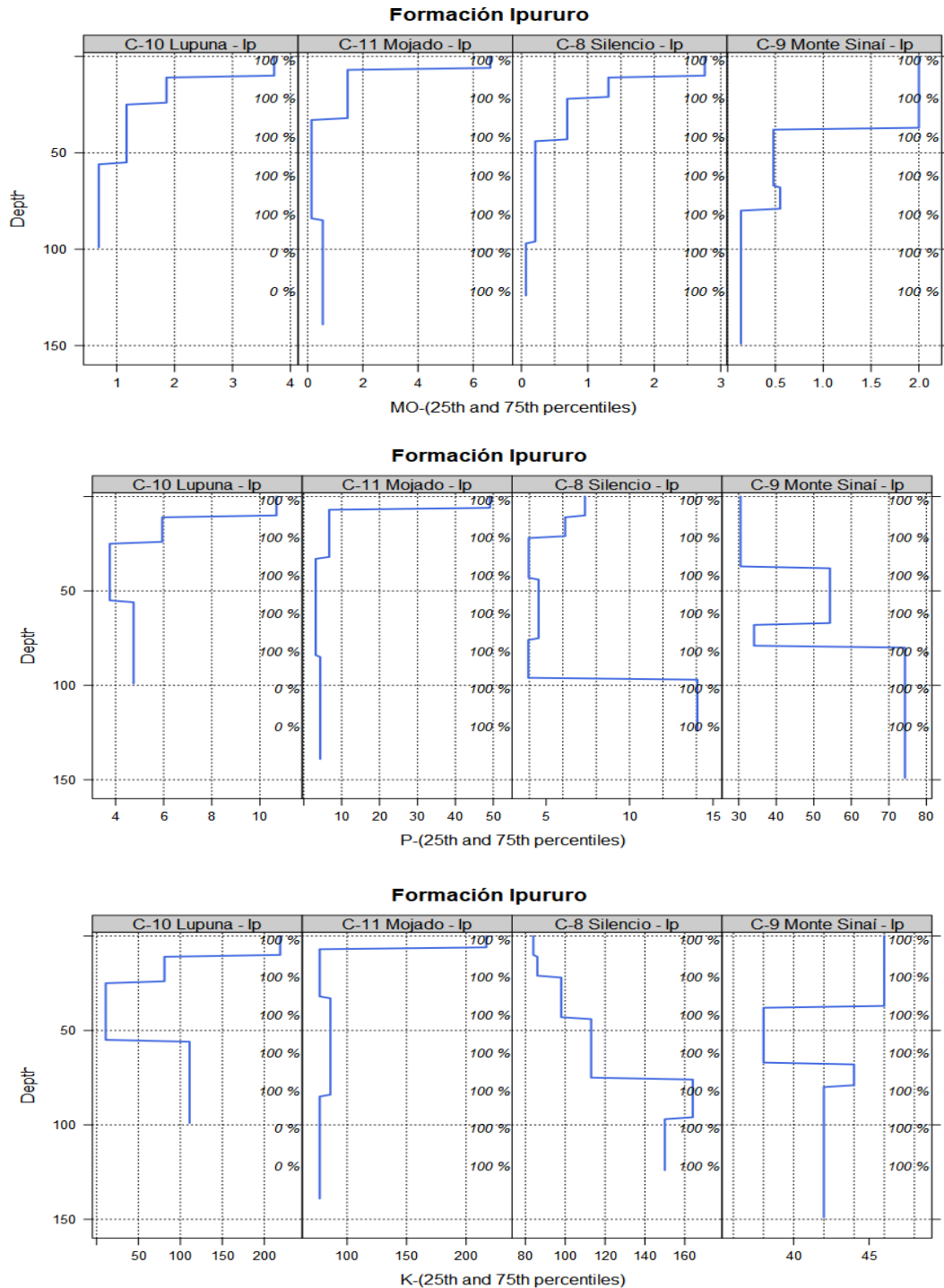


Figura 9. Contenido de M.O. P y K de los suelos de la Formación Ipururo

4.2.3 Morfología de suelos de la Formación Chambira

Los suelos de material parental residual pertenecientes a la Formación Chambira (Brachiaria, Hormigas, Shapaja, Vaca y Quinilla) describen una secuencia de horizontes A/Ap/AB/Bw/Bwt/BC/C. Presentan como horizontes de diagnóstico un epipedón ócrico y

un horizonte subsuperficial cámbico y argílico con evidencias de películas de arcilla. Como característica de diagnóstico se ha identificado contacto paralítico (Figura 7).

Los grupos texturales varían de fina a moderadamente fina. Predominan los colores pardos seguido de los rojizos, amarillentos, grises y blancos. En algunos perfiles se evidencia la presencia de moteaduras. La estructura es de forma granular y bloque subangular que constituye evidencia de desarrollo genético, con horizontes inferiores sin estructura (masiva). La consistencia es friable a muy firme, con presencia de raíces que varían de finas a gruesas. La profundidad efectiva es de moderadamente profunda a profunda y el drenaje es moderado a bueno (Anexo 2).

Sus características químicas están expresadas por una reacción extremadamente ácida a ligeramente alcalina (pH: 4,4 a 7,8), en algunos perfiles se observa la presencia de carbonatos con porcentajes que varían de medio a alto (4,23 a 10,04 por ciento). La capacidad de intercambio catiónico presenta valores de medio a muy alto (15,20 a 40,32 cmol (+) kg⁻¹) y el porcentaje de saturación de bases es bajo a alto (22 a 100 por ciento) (Anexo 4). El contenido de materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponible determinan que sean suelos de fertilidad natural baja a alta (Figura 10).

En una visión más amplia DOMUS (2013), indica que los suelos residuales de la región Ucayali son moderadamente profundos a superficiales, de textura moderadamente fina a gruesa. Asimismo, las colinas de la cuenca del Aguaytía se caracterizan por presentar perfiles tipo A/B/C, de desarrollo genético incipiente, reacción moderadamente ácida a neutra, con una saturación de bases mayor del 50 por ciento y fertilidad natural media (IIAP 2002). De manera similar, los suelos de materiales residuales del Pachitea, son moderadamente profundos a profundos, con desarrollo genético, textura moderadamente fina a fina y de reacción fuertemente ácida a neutra (ONERN 1982).

Del mismo modo, el gran paisaje de llanura plano ondulado de cuenca del Aguaytía está constituido por lutitas, limolitas y lodolitas rojas (IIAP 2002). Los suelos son superficiales a moderadamente profundos, textura media a moderadamente fina, de color amarillo parduzco a pardo amarillento claro con moteados rojos. El drenaje es bueno a moderado, de reacción muy fuertemente ácida, con baja saturación de bases y bajo contenido de materia orgánica (INIPA 1983, como se citó en Rodríguez 1995). Algunos nutrientes minerales

claves como el potasio y el fósforo son muy escasos como consecuencia de las fuertes lluvias que lavan periódicamente el suelo (Brack y Plenge 2002, como se citó en Barrantes y Glave 2014).

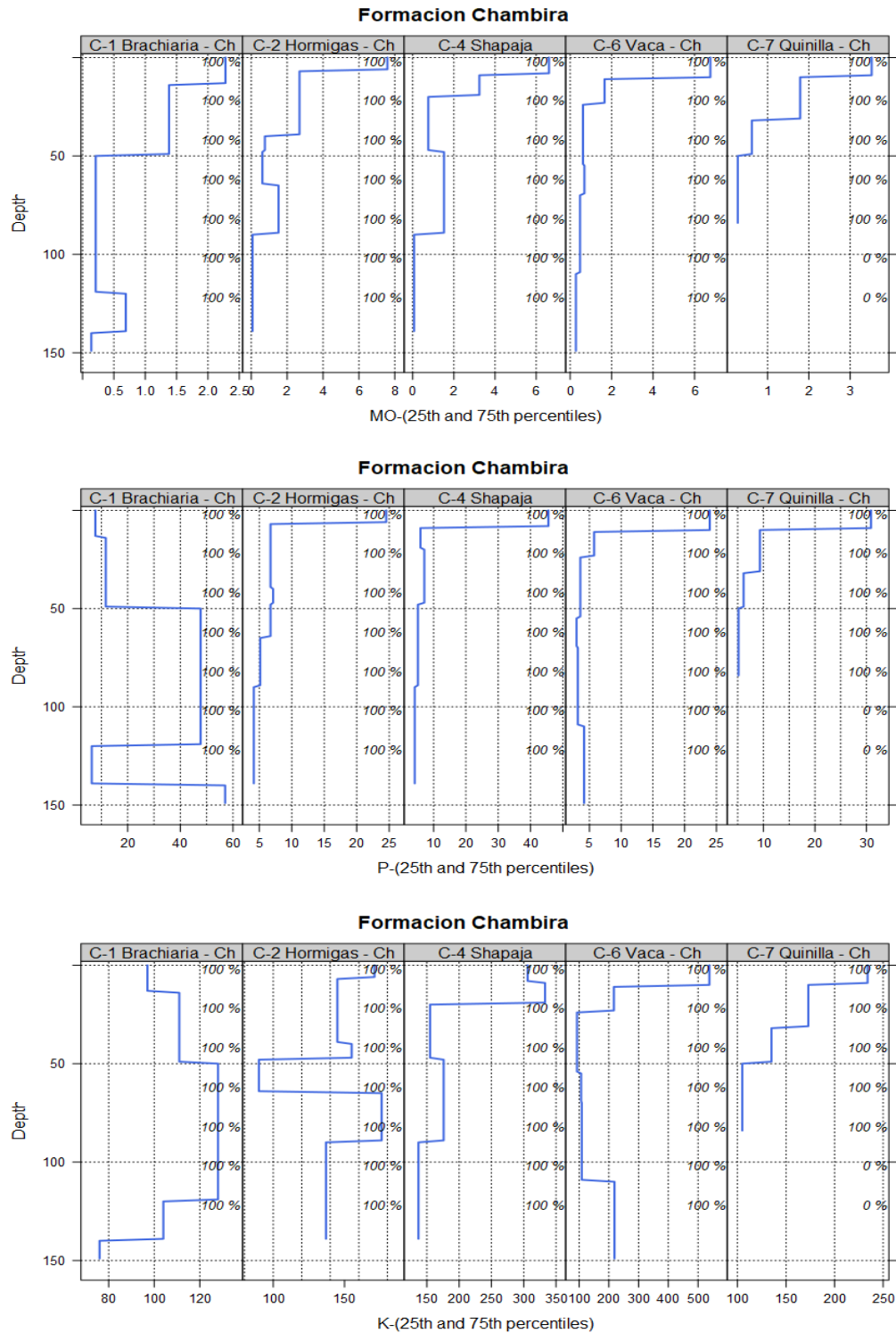


Figura 10. Contenido de M.O. P y K de los suelos de la Formación Chambira

4.2.4 Procesos de formación

Los procesos de formación del suelo más importantes identificados en el área de estudio son: Adición, remoción o sustracción, traslocación y transformación. Entre los procesos formadores relacionados específicamente con las condiciones ambientales se encuentran: pseudogleyización, lixiviación, formación de suelos con alto contenido en aluminio, iluviación de partículas arcillosas, destrucción de arcillas y ferralitización.

La meteorización de los minerales se da en función del microclima del suelo. La temperatura y contenido de agua están relacionados con el clima, pero también están vinculados a otros factores como, la topografía la cual concentra el agua localmente. Se dice que la tasa de reacciones químicas se duplica por cada aumento de temperatura de 10 grados (Legros 2013). En las zonas tropicales la meteorización química es mucho más intensa. El agua es el elemento clave en este proceso, debido a que el dióxido de carbono atmosférico se disuelve en el agua de lluvia que es ligeramente ácida. En las rocas que contienen carbonato cálcico, se produce la carbonatación. El carbonato de calcio reacciona con el ácido carbónico presente en el agua de lluvia formando bicarbonato cálcico, que después se disuelve y se lava con el movimiento del agua. Los procesos en los que el agua actúa como disolvente pueden ser más fuertes si otros gases están presentes, tales como el dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, que al reaccionar con el agua producen ácidos más fuertes (pH de 4,5 o incluso 3,0) (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

La hidrólisis aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo y otras propiedades relacionadas con su fertilidad. Las arcillas, sustancias orgánicas y otras materias coloidales son productos típicos de procesos de hidrólisis que conducen el cambio de silicatos de aluminio o hierro en minerales arcillosos y/u óxidos de hierro. Otros procesos químicos que contribuyen a la meteorización son los que implican la pérdida (oxidación) y ganancia (reducción) simultánea de electrones. Al oxidarse los materiales se genera una desestabilización de la carga que hace que la estructura se degrade (Mirsal 2008; Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

La disponibilidad de oxígeno, agua y gases disueltos conduce a las reacciones de oxidación, dejando marcas en los horizontes del suelo representados por colores amarillo, marrón o rojo, la cual se debe en gran parte a la oxidación del hierro ferroso (Rose *et al.* 1979, como

se citó en Mirsal 2008) estos procesos se conocen como gleización, donde se reduce el hierro en condiciones anaeróbicas del suelo, produciendo colores de matriz gris azulados a verdosos, con o sin motas pardo amarillentas, pardas y negras, y concreciones férricas y manganíferas (Buol *et al.* 2011). En los horizontes subsuperficiales de los suelos Shapaja, Corte, Vaca y Silencio se observó la presencia de moteaduras de colores rojizos y pardos, evidenciando así la ocurrencia de los procesos de pseudogleización.

En la zona es común la práctica de roza y quema de los boques. El calentamiento por incendios forestales es un fenómeno de meteorización física que afecta directamente a los minerales del suelo. La quema de troncos caídos o raíces grandes puede alterar drásticamente las propiedades del suelo a varios centímetros de la fuente de calor. En estas condiciones, las texturas se vuelven más gruesas y los colores más rojos (Ulery y Graham 1993; Ketterings y Bigham 2000, como se citaron en Buol *et al.* 2011).

Se ha observado que en áreas con pendientes pronunciadas y desprovistas de cobertura vegetal ocurren procesos de erosión hídrica ligera (Anexo 3). La acción erosiva del agua corriente es un tipo de meteorización mecánica (Mirsal 2008). El escurrimiento difuso es dominante en las zonas de pendientes medias a elevadas, sin embargo, están protegidas por el bosque tropical. Esta, también se presenta en superficies deforestadas, en terrenos llanos o ligeramente inclinados con pendientes menores al 15 por ciento. No obstante, a partir de cierta pendiente o nivel de desprotección del suelo las acciones erosivas resultan ser significativas (MINAM 2013).

La fragmentación de la roca por efecto del crecimiento de las raíces en pequeñas grietas o la alteración de la superficie por animales, es un tipo de meteorización biológica física; por otro lado, la meteorización biológica química puede estar causada por actividad bacteriana o ácidos orgánicos fuertes procedentes de raíces u otro tipo de materia orgánica (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). Sin embargo, también se debe considerar la acción destructiva del hombre que continuamente perturba la corteza terrestre a través de diversas actividades (Mirsal 2008).

En los horizontes A y Ap (Anexo 4), el contenido de materia orgánica varía de 0,69 a 7,59 por ciento, siendo bajo en los suelos Brachiaria, Imprevisto, Silencio y Brizantha; medio en los suelos Hormigas, Corte, Vaca, Quinilla, Monte Sinaí, Mojado y Lupuna; y alto en el

suelo Shapaja. Los procesos más importantes de adición son los de materia orgánica, dando lugar a horizontes superficiales oscuros y ricos en esta (horizontes A). Varían como respuesta al tipo de vegetación, régimen de temperatura y drenaje. Estas condiciones alteran las tasas de descomposición que es máxima en un rango de temperatura de 25 a 35 °C (Ross 1989, como se citó en Mirsal 2008). En climas tropicales o ecuatoriales muy cálidos y húmedos se produce una gran cantidad de materia orgánica, que, debido a las condiciones ambientales se degrada rápidamente. La meteorización y los procesos de formación del suelo dependen en gran medida de factores climáticos que afectan la adición orgánica y la tasa de transformación mineral (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). La mineralización es un proceso fundamental para la pedogénesis. Los compuestos orgánicos complejos pueden descomponerse permitiendo que se liberen cationes que forman las bases (calcio, magnesio, sodio y potasio) o sales (carbonatos, sulfatos, entre otros.) para los nutrientes de las plantas (Mirsal 2008).

Los procesos de remoción y sustracción ocurren con mayor intensidad en los suelos Brachiaria, Imprevisto, Corte, Monte Sinaí y Brizantha, debido a que se encuentran distribuidos en terrenos de cultivos permanentes y pastizales (Anexo 2) y se intensifican con los procesos de erosión hídrica, la cual conduce a la pérdida de material particulado. Asimismo, la pérdida de nutrientes puede seguir después de la cosecha o remoción de plantas del suelo (Mirsal 2008).

El agua remueve ciertos materiales y los desplaza hacia abajo hasta alcanzar el nivel freático, por lo tanto, puede llegar a desaparecer por completo del suelo. En zonas muy húmedas sujetas a procesos de lixiviación, se encuentran suelos muy pobres en nutrientes básicos para las plantas, dado que los cationes han sido sustraídos de la solución del suelo y enriquecidos con cationes insolubles (sílice, hierro y aluminio). El movimiento de las sales solubles muy móviles, favorece los procesos de remoción del conjunto del perfil. Los suelos que contienen carbonatos están sujetos a un tipo particular de lixiviación (descarbonatación) que se produce como resultado de la acción del CO₂ disuelto; y en un clima húmedo la pérdida se acentúa por la acción del drenaje (Duchaufour 1977; Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

La CIC de los suelos varían de 7,68 a 40,32 cmol (+) kg⁻¹, los valores más bajos se registran en los suelos Imprevisto y Monte Sinaí; seguido de los suelos Brachiaria, Vaca, Silencio,

Lupuna, Mojado, Brizantha con valores medios y por último los suelos Hormigas, Shapaja, Corte y Quinilla con valores altos (Figura 11).

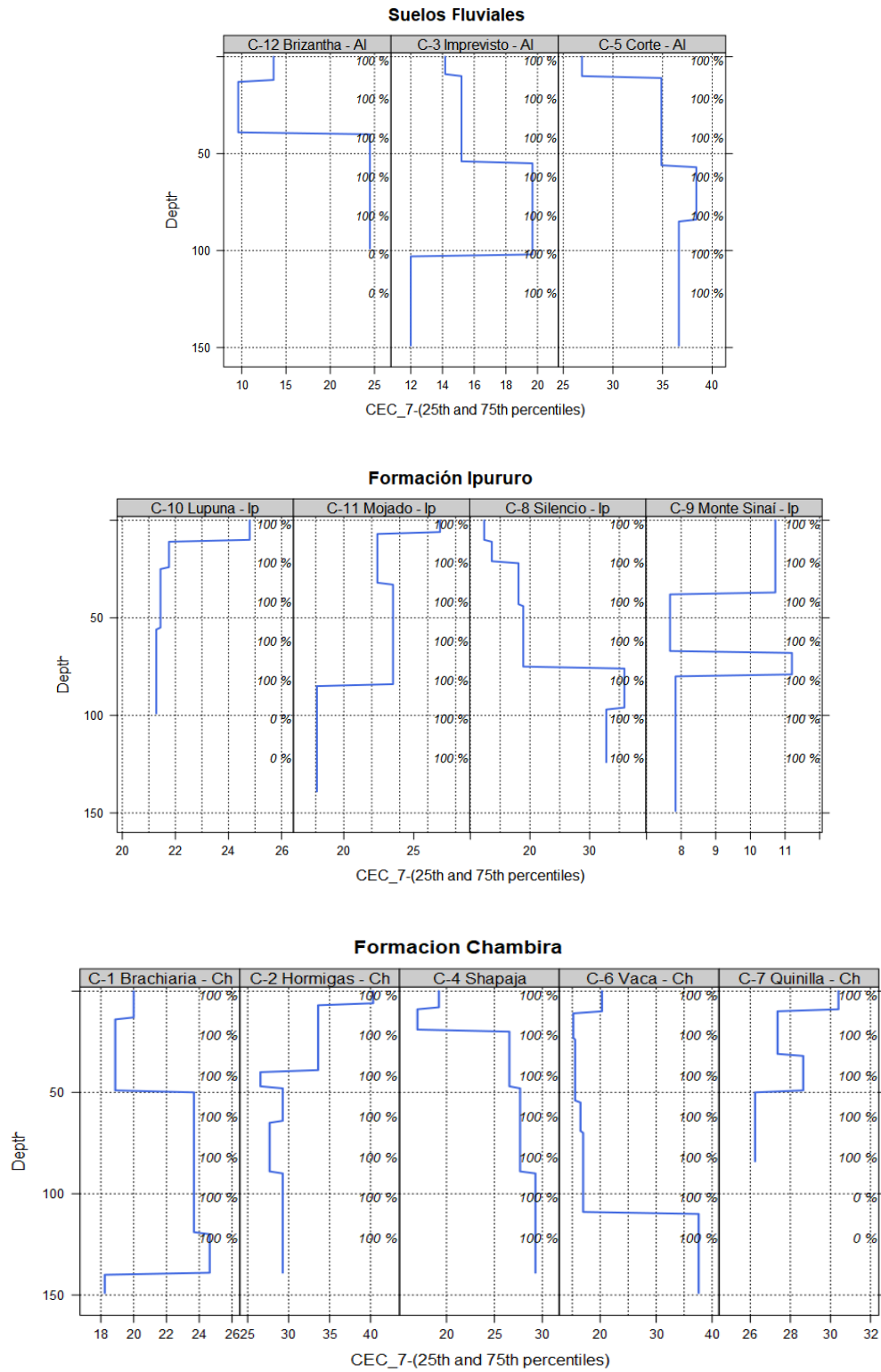


Figura 11. Capacidad de intercambio catiónico

Por su parte, los porcentajes de saturación de bases se encuentran por encima del 50 por ciento en los suelos Hormigas, Imprevisto, Corte, Quinilla, Silencio, Monte Sinaí, Lupuna y Mojado; a diferencia de los suelos Shapaja, Vaca y Brizantha que registran valores por debajo del 50 por ciento (Figura 12).

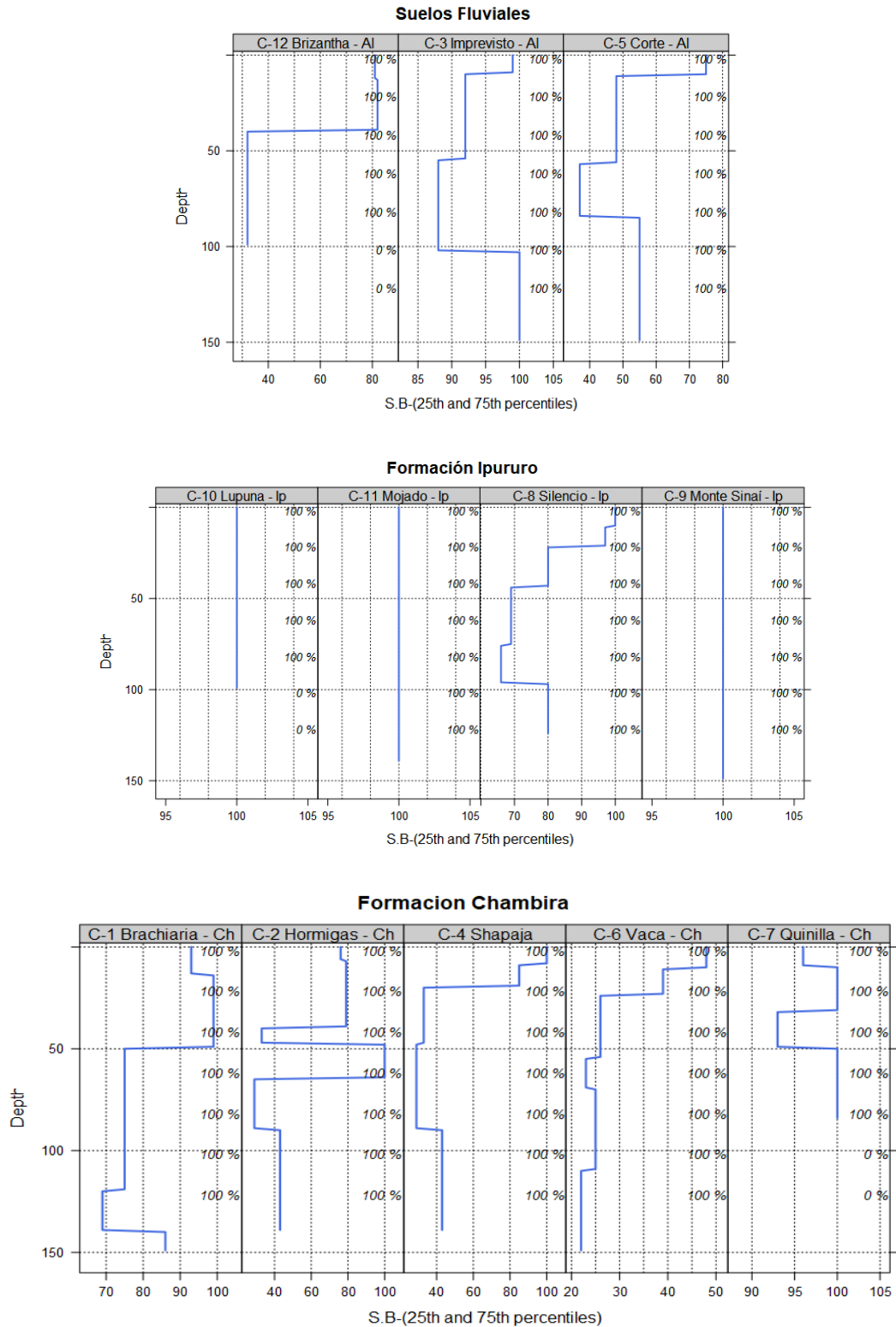


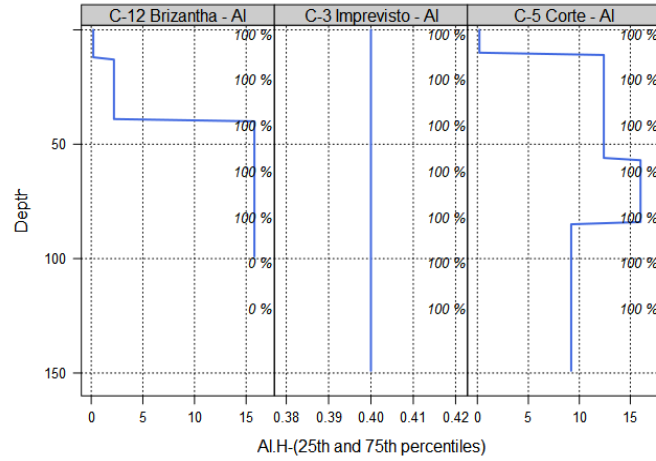
Figura 12. Porcentaje de saturación de bases

Muchos suelos de la Amazonia peruana presentan material parental calcáreo, no obstante, debido a las fuertes precipitaciones y altas temperaturas resultan en suelos ácidos y deficientes en nutrientes (Zavaleta 1992, como se citó en Barrantes y Glave 2014). El material parental de los suelos de la Formación Ipururo y Chambira, exhiben en algunas capas contenidos calcáreos, estas características justifican que algunos suelos tengan valores de CIC y saturación de bases superiores a los comúnmente reportados en suelos del trópico húmedo.

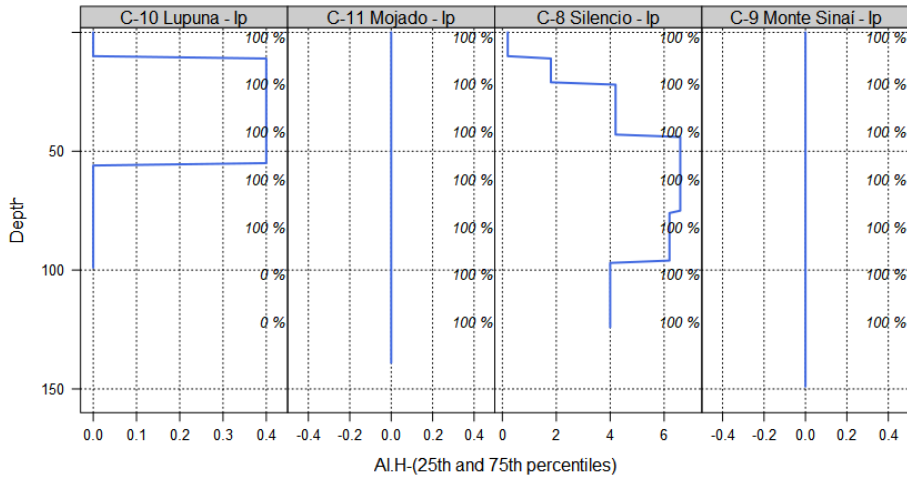
Cuando las precipitaciones son abundantes y existe un exceso de agua en el transcurso del año, los poros del suelo de los que el agua había desaparecido durante la estación seca, se saturan. El agua percola y se incorpora a las aguas subterráneas, con el paso las sales solubles del suelo (cloruros, nitratos, sulfatos o carbonatos) se disuelven y son lavadas hacia capas más profundas junto con otros compuestos orgánicos y minerales. Cuando se produce el lavado, el valor del pH baja y se libera calcio, potasio, sodio y magnesio procedentes de los minerales arcillosos y del humus, y que son reemplazados por hidrógeno y aluminio (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). Los cationes polivalentes pesados raramente migran en forma de sales, excepto los iones Mn^{2+} y Fe^{2+} en condiciones reductoras y algunas veces el Al^{3+} en condiciones muy ácidas. El desplazamiento progresivo de los cationes conduce a su sustitución en el complejo absorbente por iones H^+ o Al^{3+} , lo que da lugar a una acidificación de los perfiles. Esta pérdida de cationes afecta no sólo al horizonte A, sino al conjunto del perfil (Duchaufour 1977).

Se espera que en suelos del trópico húmedo se registren altos niveles de acidez intercambiable, no obstante, esta característica solo se presenta en capas profundas de los suelos Shapaja, Vaca y Brizantha con valores que varían de 12,20 a 23,40 cmol (+) kg^{-1} de suelo (Figura 13). Los valores de pH por debajo de 5,5 aumentan la hidrólisis del aluminio, generando toxicidad para el sistema planta (Oficina de publicaciones de la Unión Europea, 2014). Su concentración llega a ser tóxica en el 75 por ciento de los suelos amazónicos. Algunos nutrientes minerales son muy escasos, como consecuencia de las fuertes lluvias que lavan periódicamente el suelo. En la Amazonia la repetición de este proceso durante cientos de miles de años ha dejado un suelo lavado y muy empobrecido (Brack y Plenge 2002, como se citó en Barrantes y Glave 2014).

Suelos Fluviales



Formación Ipururo



Formación Chambira

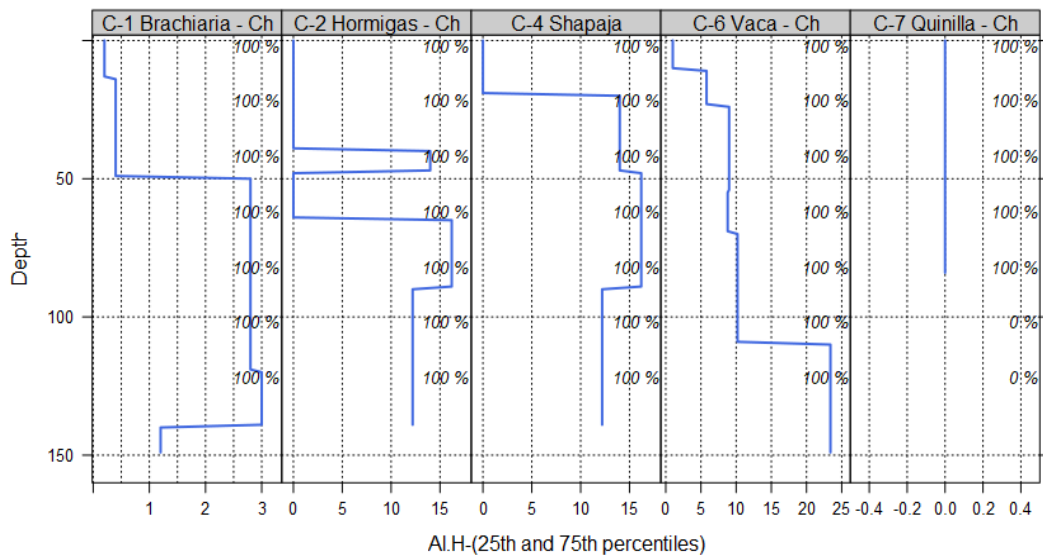


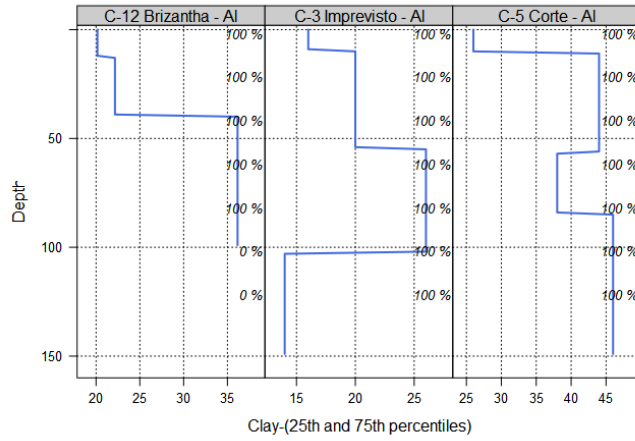
Figura 13. Contenido de acidez intercambiable

La formación de horizontes cámbicos se muestra en los suelos Brachiaria, Hormigas, Imprevisto, Shapaja, Corte, Silencio, Mojado y Brizantha (Figura 7). Las primeras sales en translocarse son los carbonatos, originando su lavado un horizonte cámbico. Los siguientes suelen ser las partículas de arcilla; en este proceso de iluviación se deposita o precipita material coloidal y óxidos metálicos en el horizonte B, lo que resulta en un enriquecimiento de arcilla y óxido de aluminio, movilizándose normalmente ambos juntos. Los óxidos de hierro, si están presentes, dan al horizonte un color rojo o marrón amarillento. Estas características describen a suelos con un grado de evolución de intermedio a avanzado. (Mirsal 2008; Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

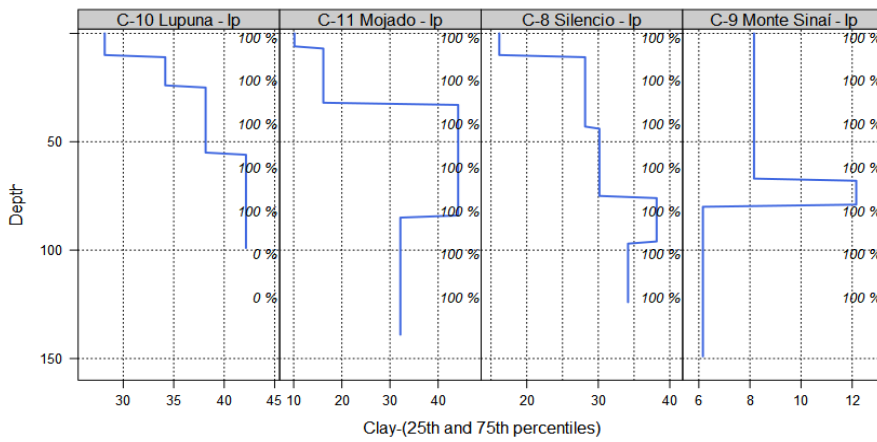
Los suelos Vaca, Quinilla y Lupuna se caracterizan por presentar horizontes argílicos (Figura 7), indicando que la superficie ha sido lo suficientemente estable como para mejorar el desarrollo del perfil. Para los suelos del trópico húmedo es prueba de una estacionalidad de déficit de humedad y de la presencia de algunos minerales meteorizables (Verheye 2008).

La cantidad de arcilla presente en un suelo aumenta con las precipitaciones y con la temperatura. El movimiento de partículas de arcilla se da por efecto del agua de percolación. Estas son redepositadas en las capas más profundas sobre otras partículas o en las cavidades y poros del suelo. Otro proceso que modifica su distribución es la erosión por las gotas de lluvia. El impacto de estas mueve las partículas más finas pendiente abajo, dejando tras de sí limo y arena. Por otro lado, la formación de un horizonte en arcilla menos permeable, puede provocar la saturación de agua en las épocas de lluvia, lo que da lugar a fenómenos de óxido-reducción o de hidromorfismo (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). Se ha observado la presencia de películas de arcillas revistiendo poros en los horizontes subsuperficiales de los suelos Imprevisto, Lupuna, Vaca y Quinilla que evidencia los procesos iluviación de arcilla. Los porcentajes se muestran en la Figura 14.

Suelos Fluviales



Formación Ipururo



Formación Chambira

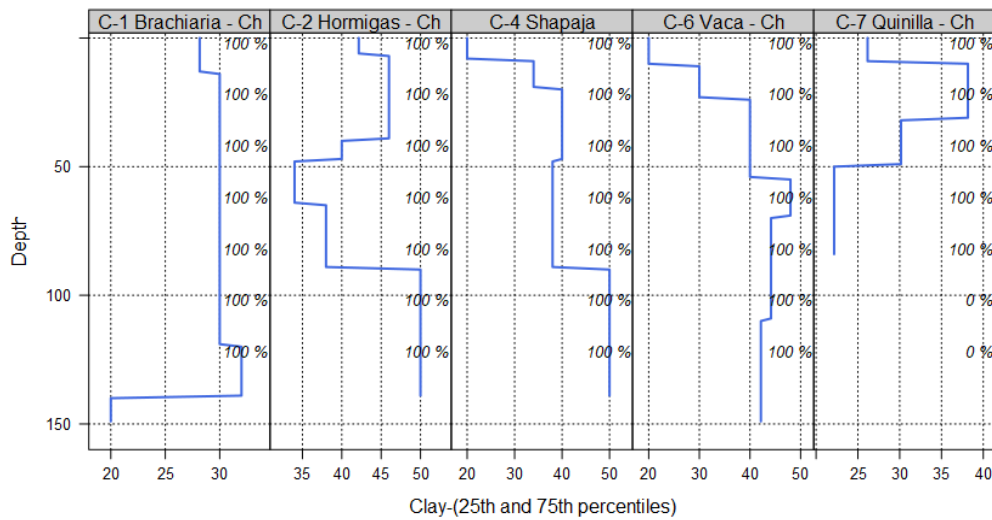


Figura 14. Contenido de arcilla

La lixiviación de los cationes conduce a la acumulación de iones de hidrógeno que son atraídos por la superficie de los minerales de arcilla y por la materia orgánica. No obstante, este estado es inestable y lleva a la eventual desintegración de la estructura cristalina de la arcilla, liberándose aluminio y silicio en el proceso. Como resultado, el suelo muestra menos arcilla y mayor valor de pH en la superficie que en el subsuelo. Se pueden encontrar patrones de distribución en los que muestran que la arcilla de la superficie del suelo ha sido redistribuida más que destruida (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

Las altas temperaturas del suelo y la percolación intensa disuelven y movilizan los minerales primarios, mientras que, los compuestos menos solubles como los sesquióxidos de hierro y aluminio, la caolinita y los granos gruesos de cuarzo permanecen en la matriz del suelo. Estos procesos se conocen como ferralitización, las condiciones que favorecen son un pH bajo, estabilidad geomorfológica durante periodos prolongados de tiempo y un material parental de fácil meteorización con alto contenido en hierro y aluminio (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014). La sílice liberada es eliminada de forma preferencial del sistema, lo que da lugar a un enriquecimiento relativo en aluminio y hierro en forma de hematita, goetita y gibbsita, dando suelos de colores rojo y ocre (Porta 2003). Algunos de los suelos del área de estudio mostraron un proceso incipiente de ferralitización la cual se sustenta en los porcentajes altos de acidez intercambiable y la presencia de colores rojizos la cual indica la presencia de óxidos.

4.3 MINERALOGÍA DE LOS SUELOS DE IRAZOLA

A continuación, se describe la mineralogía de la fracción arcilla determinada por el análisis de difracción de rayos X. Las muestras analizadas corresponden a los horizontes subsuperficiales; y se discuten agrupadas según su material de origen.

4.3.1 Mineralogía de los suelos fluviales

En las Figuras 15, 16 y 17 se muestra la mineralogía de los suelos Imprevisto, Corte y Brizantha. Los minerales encontrados en la fracción arcilla pertenecientes al subgrupo de los filosilicatos son: montmorillonita, vermiculita, nacrita, halloysita y caolinita. Asimismo, otros minerales como la anhidrita y cuarzo también están presentes. A partir de un feldespato, según las condiciones ambientales se puede obtener montmorillonita, caolinita o gibbsita. Cuando la cantidad de sílice en el agua disminuye, se produce una desilicación de la fase

sólida. La secuencia va de montmorillonita a caolinita y a gibbsita (Legros 2013). En suelos tropicales predominan la gibbsita, caolinita y montmorillonita, esta sucesión que refleja una riqueza creciente en sílice de la arcilla neoformada se observa al pasar de los climas más húmedos a los más secos y de los medios más "lixiviados" (los más ácidos) hacia los más impedidos (los menos ácidos) (Duchaufour 1977).

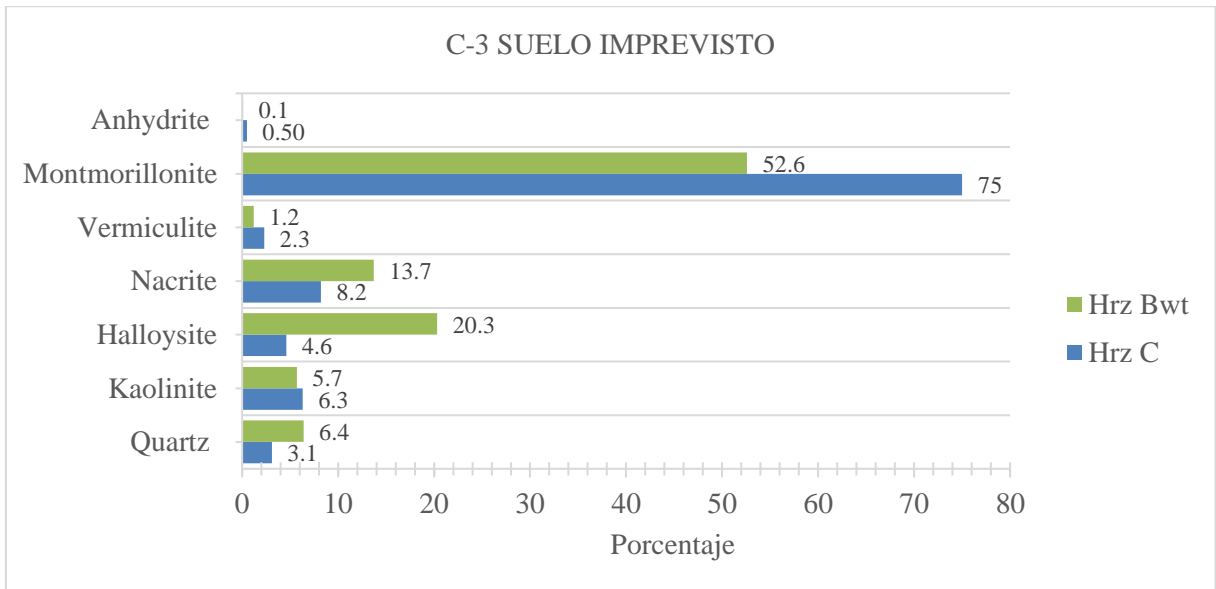


Figura 15. Mineralogía del suelo Imprevisto (horizontes Bwt y C)

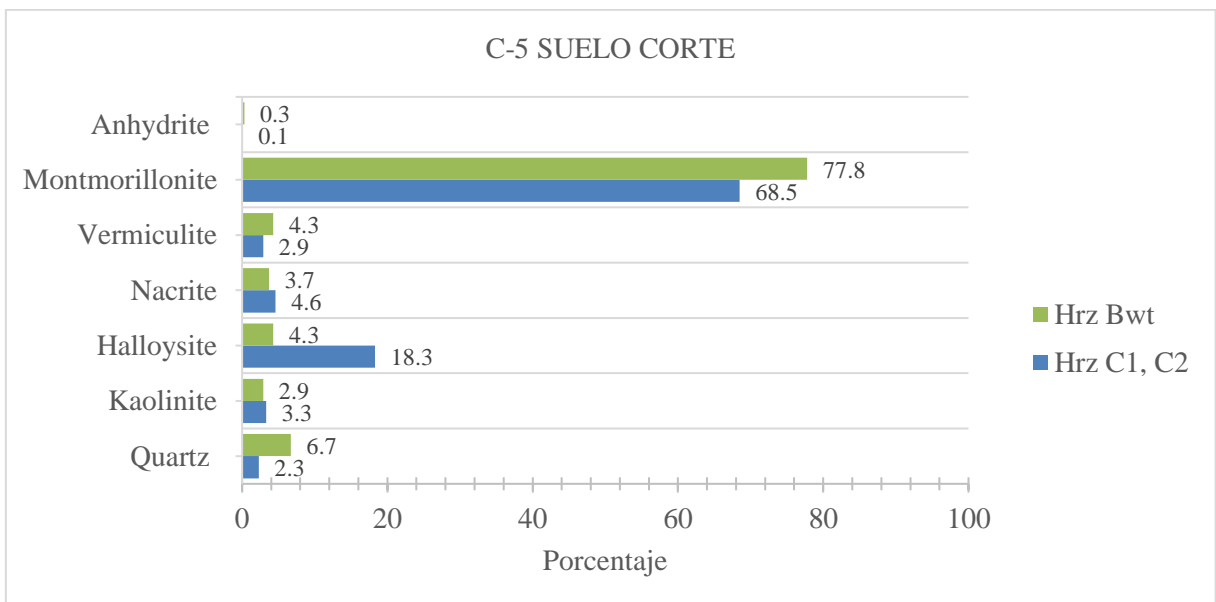


Figura 16. Mineralogía del suelo Corte (horizontes Bwt y C1-C2)

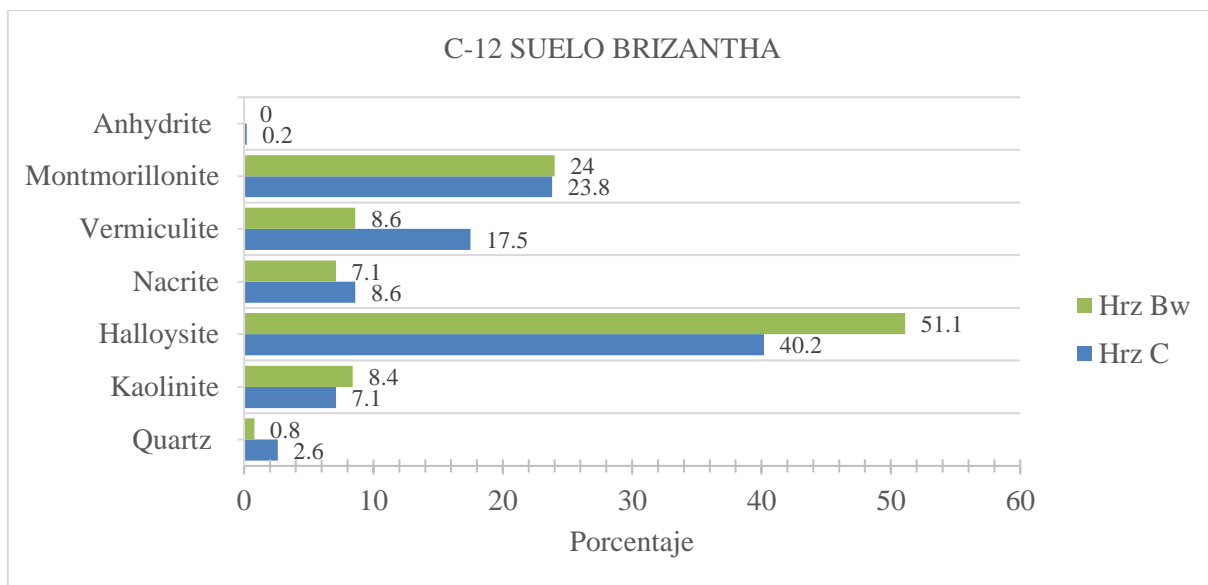


Figura 17. Mineralogía del suelo Brizantha (horizontes Bw y C)

La montmorillonita es el mineral predominante en los suelos Imprevisto y Corte con un valor máximo de 77,8 por ciento, mientras que, en el suelo Brizantha predomina la halloysita con 51,1 por ciento como valor máximo del perfil. Un estudio de cronosecuencia tropical en suelos de terraza del Holoceno indica que, en suelos jóvenes menor de 8.000 años (8 ka) la esmectita es el único mineral pedogénico detectado aparte de trazas de caolinita-esmectita (K-S) incipiente. Después de 10-50 ka el K-S interestratificado y la halloysita esferoidal son los minerales dominantes del suelo. Luego de 120 ka el suelo está dominado por minerales arcillosos 1:1 (Ryan *et al.* 2016). Estos estudios muestran que, la esmectita es el mineral pedogénico dominante (Fisher y Ryan 2006; Hobbs 2012, como se citaron en Ryan *et al.* 2016) en muchos suelos tropicales húmedos y se forma en las primeras etapas de la pedogénesis (Eswaran y DeConinck 1971; Nahon y Colin 1982; Singh y Gilkes 1993, como se citaron en Ryan *et al.* 2016). La esmectita se ve favorecida cinéticamente por condiciones de corta duración de alto contenido en sílice y cationes básicos en la solución del suelo, proporcionadas por la rápida disolución de minerales primarios (Ryan *et al.* 2016). Los Inceptisoles pardos ricos en esmectita de las primeras etapas, evolucionan con el tiempo hacia suelos lateríticos rojos ricos en caolinita (Alexander y Holowaychuk 1983; Nieuwenhuysen *et al.* 2000; Kautz y Ryan 2003; Fisher y Ryan 2006; He *et al.* 2008; Ryan y Huertas 2009, como se citaron en Ryan *et al.* 2016).

Es posible que para los suelos Imprevisto y Corte, la montmorillonita se esté alterando dando lugar a la formación de minerales arcillosos de tipo 1:1, por otro lado, en el suelo Brizantha

la meteorización ha sido más fuerte, dando lugar principalmente a arcillas del grupo de las caolinitas. De acuerdo con Verheye (2008), las tierras bajas recogen las aguas de drenaje y los productos de disolución de las tierras altas (cationes y sílice principalmente) y constituyen un ambiente propicio para la neosíntesis de minerales como la caolinita. Estos suelos han recibido material reciente depositado por el río en diferentes periodos y a su vez, material de las colinas adyacentes. Es posible que se trate de suelos que han sido desarrollados sobre material coluvial, explicando así las similitudes en cuanto a su mineralogía con los suelos de origen residual.

Wilson (1999) como se citó en Clausell (2001), señala que la caolinita es muy escasa en suelos recientes, registrándose su presencia en suelos de más de 10 ka relacionados con superficies de erosión. También indica que, en comparación con la caolinita presente en formaciones geológicas, las caolinitas edáficas suelen mostrar menor tamaño de partícula, presencia de fierro y mayor desorden en la estructura pudiendo presentar interstratificación con esmectitas.

4.3.2 Mineralogía de los suelos de la Formación Ipururo

Los suelos Silencio, Lupuna y Mojado pertenecientes a la Formación Ipururo, presentan una mineralogía (Figuras 18, 19, 20 y 21) caracterizada por la predominancia de arcillas de tipo 2:1 sobre todo en los horizontes B, siendo la montmorillonita la más representativa con valores que varían de 26,2 a 59,5 por ciento. Mientras que, en los horizontes C predominan minerales arcillosos del grupo de las caolinitas, principalmente la halloysita con valores que varían de 47,1 a 67,7 por ciento. A diferencia del suelo Monte Sinaí, las arcillas de tipo 1:1 son dominantes en el horizonte AC, especialmente la nacrita con 31,3 por ciento, mientras que, en el horizonte C son las arcillas de tipo 2:1 como la montmorillonita la que se encuentran en mayor proporción alcanzando un 24,6 por ciento. Es posible que los minerales arcillosos de tipo 2:1 se estén alterando dando paso a la formación de arcillas de tipo 1:1, explicando así la poca diferencia de ambos grupos.

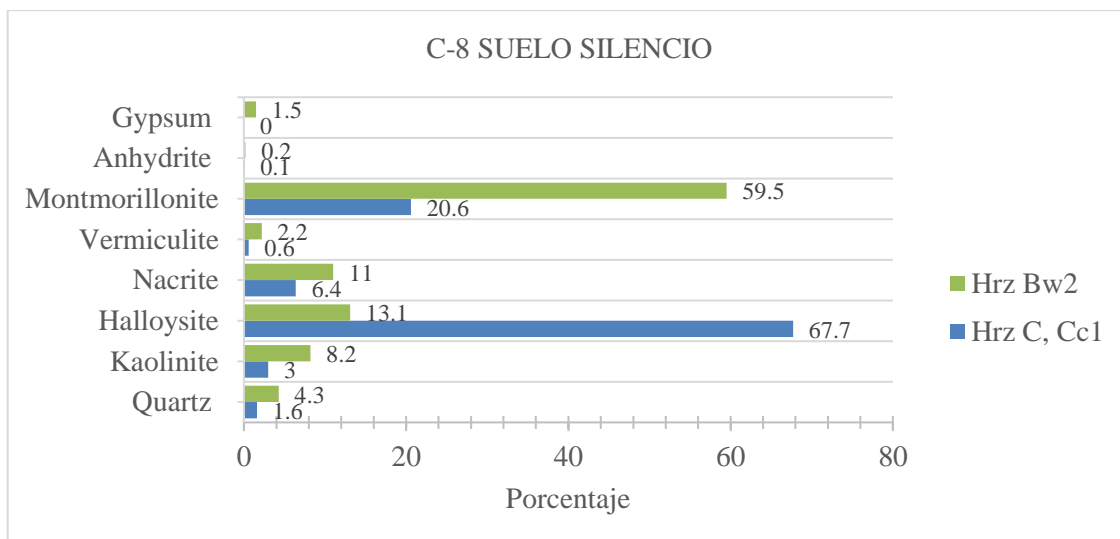


Figura 18. Mineralogía del suelo Silencio (horizontes Bw2 y C-Cc1)

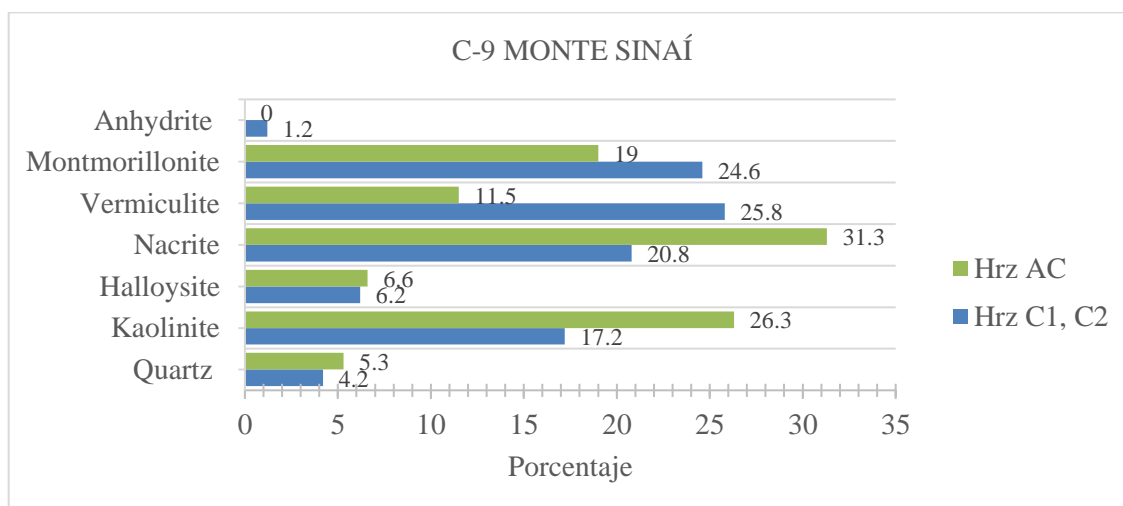


Figura 19. Mineralogía del suelo Monte Sinaí (horizontes AC y C1- C2)

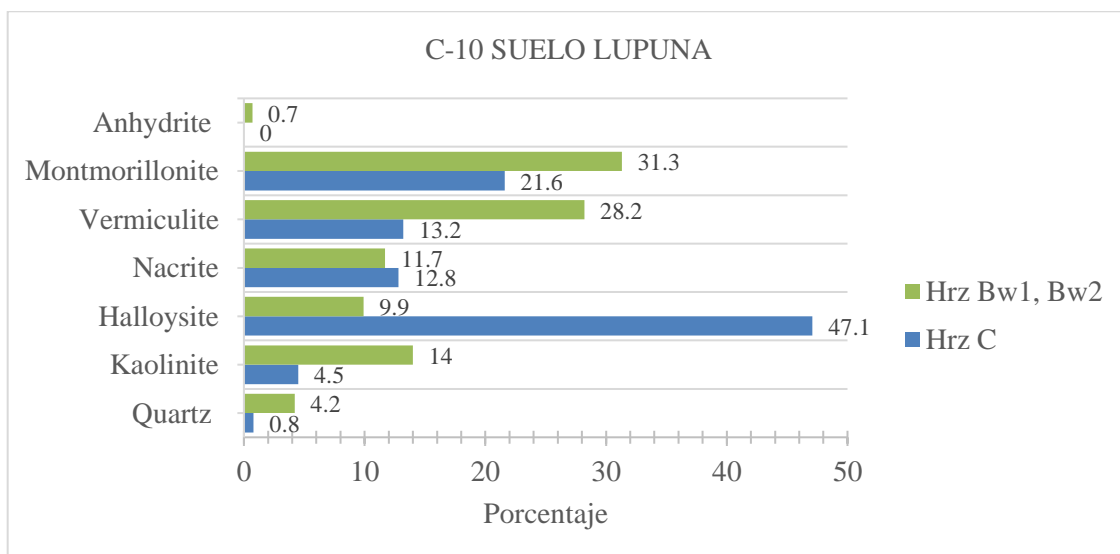


Figura 20. Mineralogía del suelo Lupuna (horizontes Bw1-Bw2 y C)

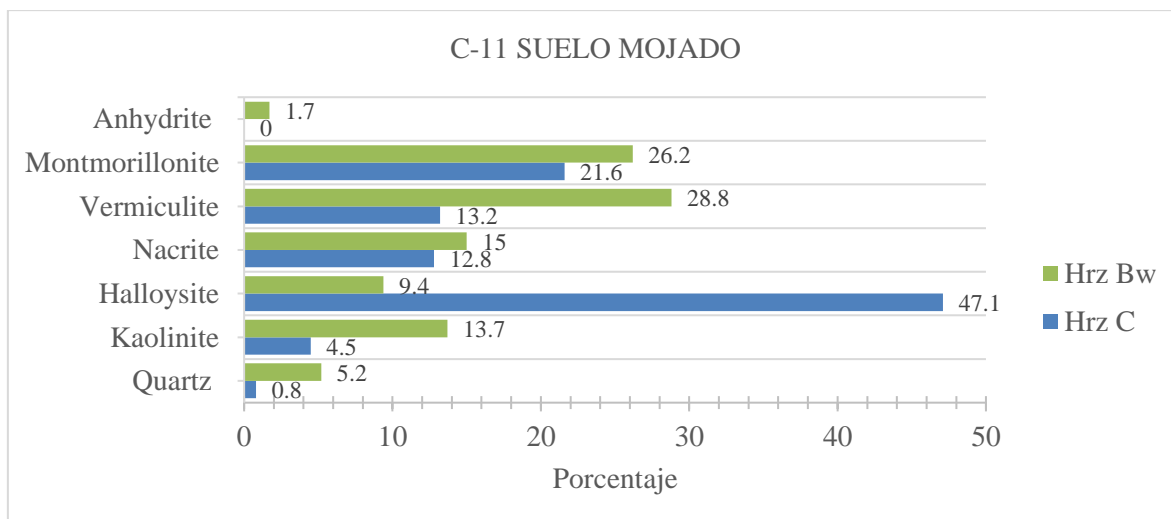


Figura 21. Mineralogía del suelo Mojado (horizontes Bw y C)

Una de las características del material parental de los suelos de esta formación es la presencia de areniscas feldespáticas y contenido calcáreo, la cual influencia directamente incrementando los porcentajes de minerales como la montmorillonita y la vermiculita. Las illitas pueden sufrir pérdida de iones de potasio intercalares y transformarse en vermiculitas; y estas últimas transformarse en montmorillonitas. La mayoría de las montmorillonitas pueden ser heredadas del material parental, siendo el entorno del suelo favorable para su conservación (Duchaufour 1998).

La montmorillonita es el mineral más abundante en los suelos de esta formación. Los porcentajes son mayores en los horizontes B (26,2 a 59,5 por ciento) que en los horizontes C (20,6 a 21,6 por ciento); a excepción del suelo Monte Sinaí que no presenta horizonte genético B, siendo mayor en el horizonte C (24,6 por ciento) que en el AC (19 por ciento). Este mineral puede hallarse en rocas sedimentarias tales como las lutitas. En otros casos pueden neoformarse en el suelo, lo que va asociado a medios ricos en sílice, magnesio y hierro, y a condiciones de drenaje deficiente (Porta 2003). Las esmectitas y los minerales arcillosos 2:1 relacionadas tienden a aparecer en suelos tropicales jóvenes donde el tiempo limitado es responsable de una lixiviación limitada de la sílice y de los cationes básicos (Lal 1995, como se citaron en Ryan *et al.* 2016).

Seguido de la montmorillonita, la vermiculita también es un mineral con mayor incidencia en los suelos estudiados. Para los suelos Monte Sinaí, Mojado y Lupuna los valores varían de 11,5 a 28,8 por ciento en los diferentes horizontes. Sin embargo, se observa que la

proporción es mucho menor en el suelo Silencio (0,6 a 2,2 por ciento). La vermiculita es frecuente en suelos que han sufrido una meteorización relativa más intensa y se forma a partir de rocas básicas (Besoain 1985). Las micas pueden transformarse en vermiculitas al perder el potasio interlaminar en un medio rico en magnesio (Porta 2003). El mecanismo de formación más común de la vermiculita es la transformación de la mica negra o biotita por acidólisis parcial en ambientes húmedos (Besoain 1985, Wilson 1999, como se citaron en Alvarado *et al.* 2014).

Por otra parte, los minerales arcillosos identificados de tipo 1:1 son la caolinita, halloysita y nacrita, siendo la halloysita la más representativa. Estos minerales pertenecen al grupo de las caolinitas y se encuentran en la fracción arcillosa de los suelos y a veces en cristales grandes (Imbellone *et al.* 2017).

Los porcentajes de nacrita varían de 6,4 a 31,3 por ciento en los diferentes horizontes. Las mayores proporciones se registran en el suelo Monte Sinaí y los más bajos en el suelo Silencio. Este mineral se considera polítipico y constituyen fases raras en los suelos (Ross y Kerr 1930, como se citó en Chen 2001). Se cree que es principalmente hidrotermal o relacionada con un ambiente de temperatura elevada (Hanson *et al.* 1981; Lippmann 1982, como se citó en Chen 2001). La escasa información sobre ocurrencias de nacrita no sólo está relacionada con la rareza de esta especie, sino que también se debe a la dificultad de identificar polítipos por métodos instrumentales convencionales, especialmente cuando se presenta en cantidades subordinadas o con otros minerales de caolín (Prost *et al.* 1989, como se citó en Chen 2001).

La halloysita es el mineral dominante dentro del grupo de las caolinitas. Sus proporciones van desde 6,2 por ciento hasta 67,7 por ciento en los distintos horizontes, incrementándose proporcionalmente con la profundidad. Es un mineral formado por efecto de actividad hidrotermal (Sudo y Shimoda 1978, como se citó en Besoain 1985) o alteración meteórica, siendo muy raro en depósitos sedimentarios (Clausell 2001). Es una arcilla común en climas húmedos y tropicales (Mizota y Van Reeuwijh 1989; Quantin *et al.* 1991, como se citó en Besoain 1985). Puede ser producto directo de la meteorización del feldespato (Eswaran y Bin 1978b, 1978c; Southard y Southard 1987, como se citaron en Buol *et al.* 2011) que se desarrolla en un ambiente ligeramente ácido a neutro, en condiciones húmedas, con altas tasas de meteorización y de lixiviación (Besoain 1985; Buol *et al.* 2011). Es la especie

hidratada menos ordenada del caolín, contiene capas de agua en sus intercalaciones y a menudo tiene una morfología tubular (Allen y Fanning 1983, como se citaron en Buol *et al.* 2011).

Wilson (1999) como se citó en Clausell (2001), señala la frecuente presencia de halloysita en suelos tropicales, y que además de los procesos de neoformación, la caolinita puede formarse por la transformación de halloysita (La Iglesia y Galán 1975, como se citó en Clausell 2001).

Los porcentajes de caolinita varían de 3 a 26,3 por ciento para los diferentes horizontes. Presentando mayor y menor proporción en los suelos Monte Sinaí y Silencio respectivamente. El paradigma común para los suelos de los trópicos húmedos predice una rápida lixiviación de cationes base y sílice que resulta en la formación de caolín muy temprano en la génesis del suelo (e.g. Herbillon, 1980; Nahon 1991; Quantin *et al.* 1991, como se citaron en Ryan *et al.* 2009). El caolín se forma a través de la transformación de esmectita precursora metaestable, particularmente donde las concentraciones de cationes base son elevadas, en áreas mal drenadas, en la profundidad de los perfiles del suelo o en suelos jóvenes (Eswaran y de Coninck 1971; Kantor y Schwertmann 1974; Ojanuga 1979; Thanachit *et al.* 2006, como se citaron en Ryan *et al.* 2009). También puede proceder de la meteorización de feldespatos y micas (Porta 2003). Los cristales de feldespato tienen una estructura tridimensional y la caolinita es un mineral de capa. La transformación representa una reorganización completa a nivel mineralógico (neoformación) y tiene lugar mediante la solubilización de los iones que componen el mineral donante (Legros 2013). Las caolinitas pueden en ciertos medios muy ácidos producirse por una transformación lenta de las arcillas micáceas; estas se desarrollan bien por la pérdida lenta de sílice (en un clima tropical) o, por el contrario, por una ganancia de aluminio (Tardy 1969; Segalen 1973, como se citó en Duchaufour 1977).

La secuencia esperada del análisis mineralógico, es que las arcillas de tipo 1:1 sean predominantes en el horizonte B que en el C; puesto que se pudiera afirmar que las arcillas de tipo 2:1 se estarían alterando dando lugar a la formación de arcillas de tipo 1:1. Sin embargo, los porcentajes de minerales arcillosos 2:1 y 1:1 varían indistintamente del horizonte en el que se encuentren. Estos resultados pueden relacionarse con la presencia de K-S interestratificado. Sin un análisis detallado, el K-S puede ser identificado erróneamente

como esmectita en casos de K-S rica en esmectita y como halloysita o caolinita desordenada en casos de K-S rica en caolín (Ryan *et al.* 2009).

La K-S interestratificado se considera un intermediario en la evolución progresiva de la transición de esmectita a caolinita durante el proceso pedogénico de los suelos tropicales (Churchman *et al.*, 1994, Hughes *et al.*, 1993, como se citaron en Hong *et al.* 2012). Es interesante que el K-S no haya sido documentado previamente como intermediario en la transición de esmectita a caolín en esta zona climática. Una posible explicación es que la esmectita se disuelve y recristaliza para formar caolín sin K-S intermedio (Środoń 1980, como se citaron en Ryan *et al.* 2009). Muchos investigadores (por ejemplo, Hughes *et al.* 1993; Cuadros *et al.* 1994; Środoń 1999, como se citaron en Ryan *et al.* 2009) han señalado que puede haber casos en los que la presencia de K-S haya pasado desapercibida debido a la dificultad de su reconocimiento en los análisis rutinarios (Ryan *et al.* 2009).

4.3.3 Mineralogía de los suelos de la Formación Chambira

En las Figuras 22, 23, 24, 25 y 26 se muestra la mineralogía de los suelos Brachiaria, Hormigas, Shapaja, Vaca y Quinilla pertenecientes a la Formación Chambira, la cual se encuentra dominada por filosilicatos de tipo 2:1 como la montmorillonita principalmente. Los valores varían de 6,9 a 66 por ciento. Por otro lado, los minerales arcillosos del grupo de los caolines se encuentran en menor proporción con respecto al grupo 2:1. Para la mayoría de suelos de esta formación se cumple que, en los horizontes B y C, existe una predominancia de minerales arcillosos tipo 2:1, no obstante, la diferencia con las 1:1 resulta ser mínima. Al igual que en los suelos fluviales y de la Formación Ipururo, los minerales arcillosos dominantes pertenecen al grupo 2:1 que con el tiempo darán lugar a la formación de arcillas típicas de los productos finales de la meteorización en los trópicos húmedos.

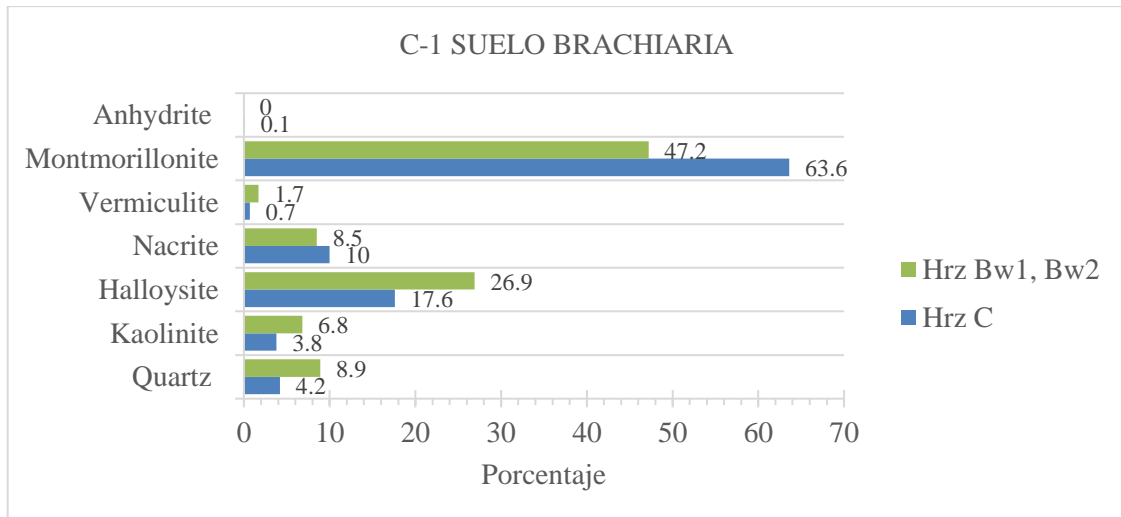


Figura 22. Mineralogía del suelo Brachiaria (horizontes Bw1-Bw2 y C)

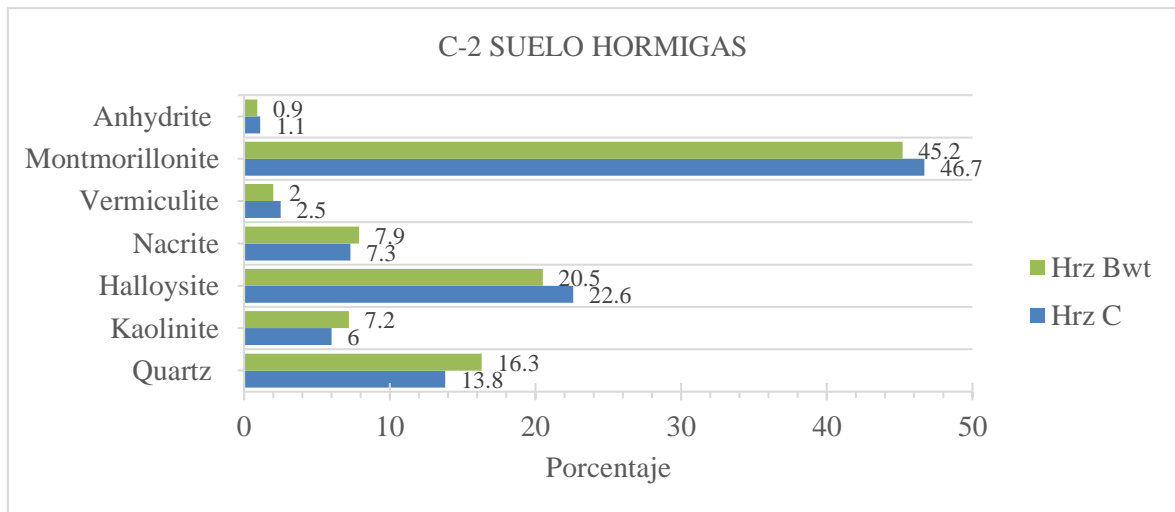


Figura 23. Mineralogía del suelo Hormigas (horizontes Bwt y C)

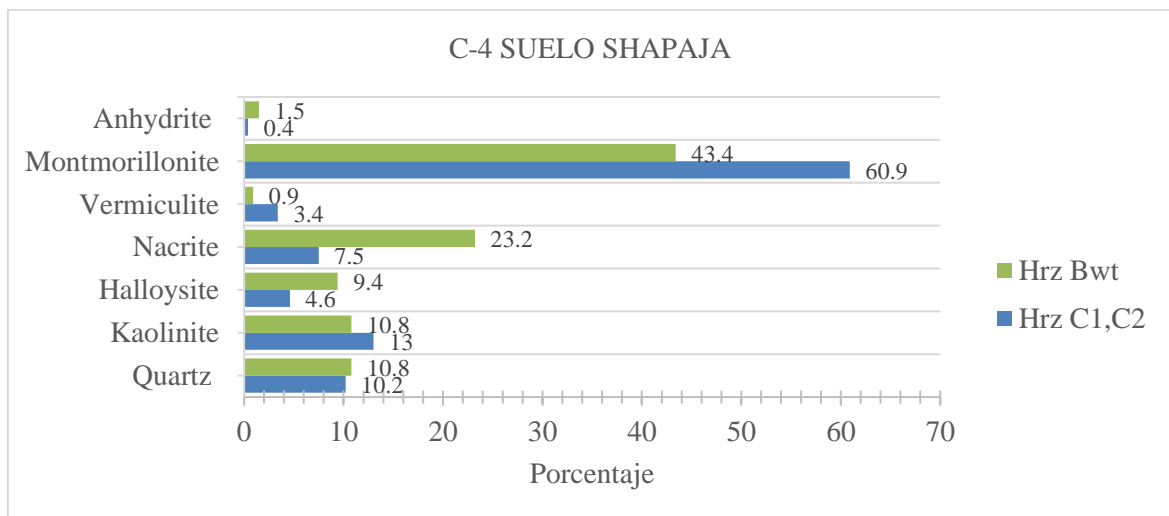


Figura 24. Mineralogía del suelo Shapaja (horizontes Bwt y C1-C2)

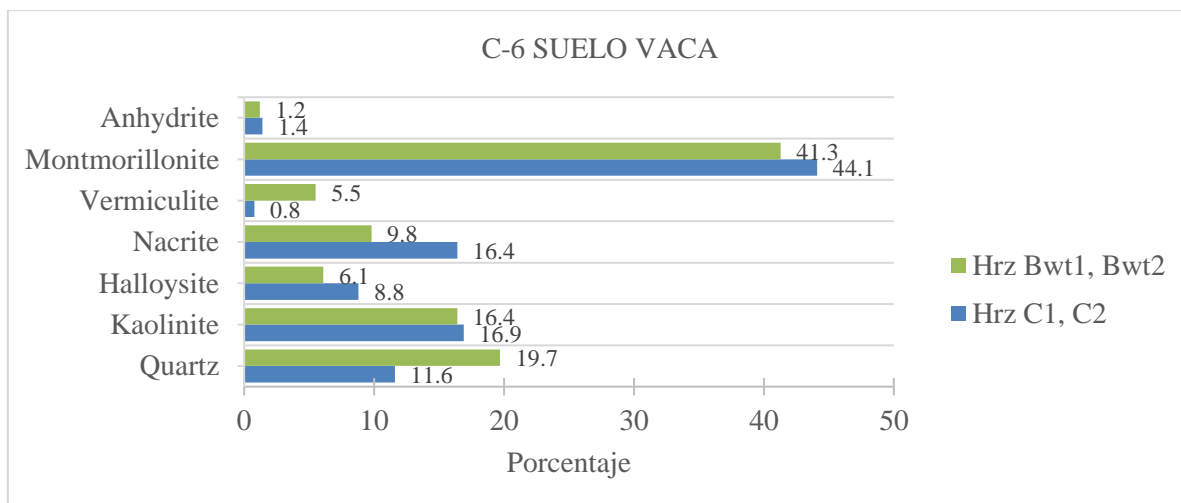


Figura 25. Mineralogía del suelo Vaca (horizontes Bwt1-Bwt2 y C1-C2)

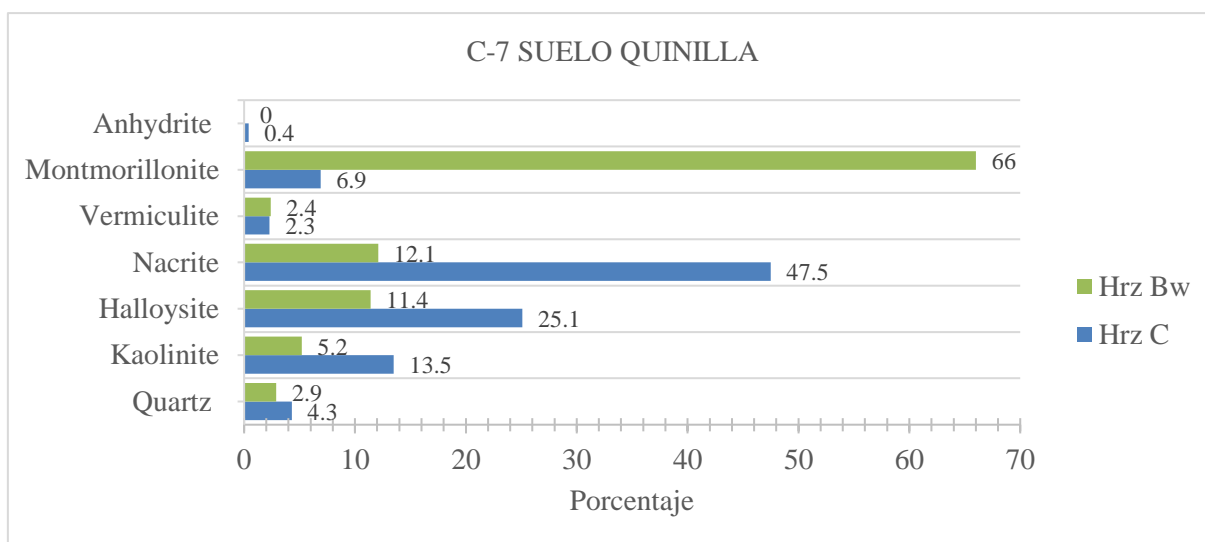


Figura 26. Mineralogía del suelo Quinilla (horizontes Bw y C)

La montmorillonita es el mineral que domina en la fracción arcillosa de los suelos de esta formación; presenta valores que varían de 6,9 a 66 por ciento. Los horizontes C son los que concentran mayores porcentajes comparados con los horizontes B, a excepción de suelo Quinilla donde las concentraciones decrecen con la profundidad. El otro mineral del tipo 2:1 presente es la vermiculita, sin embargo, sus valores son menores que los de la montmorillonita (0,7 a 5,5 por ciento). El material parental de estos suelos presenta capas muy delgadas de limolitas calcáreas con concreciones de caliza, esta característica es determinante para entender la inusual presencia de minerales arcillosos 2:1 en suelos del trópico húmedo. La meteorización de minerales arcillosos como la esmectita y la vermiculita puede elevar el contenido en aluminio de los suelos. Estos procesos están restringidos a ambientes en los que el material parental es básico (con esmectita) o silíceo (con

vermiculita), el clima es húmedo y la topografía permite el movimiento del agua (Oficina de publicaciones de la Unión Europea 2014).

Dentro del grupo de los caolines están presentes la nacrita, halloysita y caolinita. La nacrita presenta valores que varían de 7,3 a 47, 5 por ciento; la halloysita de 4,6 a 26,9 por ciento; y caolinita de 3,8 a 16,9 por ciento. La caolinita es a menudo el más común en suelos ácidos intensamente meteorizados (Dixon 1989 como se citaron en Buol *et al.* 2011). Se sintetiza en condiciones de concentraciones aproximadamente iguales de sílice y aluminio, con alta concentración de hidronio y ausencia de magnesio y otros cationes básicos. Su formación se rige por las solubilidades relativas del sílice, aluminio y cationes básicos. Los cationes básicos y la sílice son más solubles que el aluminio, por lo que se lixivian preferentemente de los suelos bien drenados (Buol *et al.* 2011). En los materiales básicos bajo condiciones de drenaje lento, la formación inicial de la montmorillonita parece preceder a la de la caolinita; la montmorillonita está presente en el regolito profundo relativamente rico en tierras alcalinas y sílice soluble; esta montmorillonita se transforma rápidamente en caolinita por pérdida de sílice (Duchaufour 1977).

De acuerdo con los resultados, la halloysita es uno de los minerales predominantes dentro del grupo de los caolines. Su presencia es inusual en este tipo de suelos del trópico húmedo debido a que normalmente se encuentran asociados a suelos volcánicos. A pesar de décadas de investigación la relación de la halloysita y la caolinita entre sí, no se comprende del todo (Hart *et al.* 2002; Hughes *et al.* 2009, como se citaron en Ryan *et al.* 2016). Los datos termodinámicos indican que la caolinita es estable en relación con la halloysita (Dean 1979; de Ligny y Navrotsky 1999; Fritz *et al.* 2009, como se citaron en Ryan *et al.* 2016) y la alteración esperada de halloysita a caolinita se ha observado en el suelo (Parham 1969; Eswaran y Wong 1978; Calvert *et al.* 1980; Churchman y Gilkes 1989; Delvaux *et al.* 1992; Abayneh *et al.* 2006, como se citaron en Ryan *et al.* 2016). Curiosamente, también se ha observado lo contrario, aparentemente como resultado de la hidratación de la caolinita que provoca el enrollamiento de las capas 1:1 (Robertson y Eggleton 1991; Singh y Gilkes 1992; de Oliveira *et al.* 1997) (Ryan *et al.* 2016).

La montmorillonita es el mineral con mayor ocurrencia en los horizontes subsuperficiales de los suelos estudiados. Una de las posibles razones es que esta sea resultado del transporte desde horizontes superficiales hacia los más profundos. En condiciones ligeramente ácidas,

las montmorillonitas son prácticamente las únicas que migran junto con los óxidos de hierro que las recubren como una piel (Guillet *et al.* 1975, como se citó en Duchaufour 1977), por lo que se transportan con mayor facilidad (Blume 1964, Smith y Wilding 1972, como se citó en Duchaufour 1977). Sin embargo, este proceso no ocurre igual para las caolinitas y otros minerales.

Las arcillas micáceas, las illitas y las vermiculitas son razonablemente móviles, especialmente en suelos que están siendo acidificados (Guillet *et al.* 1975, como se citó en Duchaufour 1977). Dixit *et al.* (1975) como se citó en Duchaufour (1977), indican que las caolinitas son prácticamente inmóviles y resistentes a todos los procesos de movimiento en condiciones ácidas; las partículas son generalmente grandes y la carga muy baja, cuando estas cargas son neutralizadas por los iones férricos no puede producirse ningún movimiento (Pedro y Chauvel 1973, como se citó en Duchaufour 1977). En los suelos ácidos tropicales y ecuatoriales donde la caolinita se vuelve predominante, el fenómeno de desplazamiento es soportado preferentemente por la pequeña cantidad de arcillas micáceas (Duchaufour 1977).

La presencia de cuarzo y anhidrita se observa en todos los suelos estudiados y presentan los porcentajes más bajos comparado con los otros minerales, valores que no sobrepasan del 19,7 y 1,7 por ciento respectivamente. El cuarzo a menudo es considerado inatacable (es posible una disolución entre 15 y 20 por ciento en determinados climas cálidos y húmedos), es el mayor componente de la mayoría de las rocas y suelos (Duchaufour 1998). En los trópicos húmedos la sílice permanece soluble y sale del sistema por desilicación, mientras que, en otros puede precipitar como cuarzo. La liberación de ácido silícico unida a la destrucción de las arcillas filosilicáticas, puede ocasionar que los suelos tengan una abundancia de cuarzo (probablemente neoformado a partir del ácido silícico) en la fracción arcillosa (Hardy 1993, como se citó en Schaetzel y Anderson 2005). Por otro lado, el yeso constituye la forma más común de sulfato de cálcico en el suelo, puesto que la anhidrita de ser heredada del material originario, solo se conserva en suelos de climas muy áridos, en los demás casos evoluciona hidratándose rápidamente (Porta 2003).

4.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE IRAZOLA

En la tabla 5 se muestra la clasificación taxonómica (USDA 2022) de los suelos del área de estudio. Se clasifican en cuatro ordenes, entre los que se encuentran Entisols, Inceptisols,

Alfisols y Ultisols. Los subórdenes están determinados principalmente por el régimen de humedad y estado de desarrollo. Los grandes grupos y subgrupos reciben su principal influencia del contenido de bases y grado de desarrollo.

La clasificación a nivel de familia está determinada por las características heredadas del material de origen. Como primera propiedad tenemos al tamaño de partículas, entre las que se distinguen familias de suelos con tamaños de partícula Fina, Francosa-fina y Francosa-gruesa. También se clasificó a los suelos según su clase mineralógica, donde destacan los suelos de la familia esmectítica pertenecientes principalmente a suelos desarrollados a partir de la Formación Chambira y Fluvial; y la familia mezclada especialmente para aquellos suelos originados a partir de la Formación Ipururo.

Tabla 5. Clasificación taxonómica (USDA 2022)

Soil Taxonomy 2022					
Orden	Suborden	Gran grupo	Subgrupo	Familia	Nombre de Suelo
Entisols	Orthents	Udorthents	Typic Udorthents	Francosa-gruesa, Mezclada, Typic Udorthents	Monte Sinaí
Inceptisols	Udepts	Eutrudepts	Humic Eutrudepts	Francosa-fina, Esmectítica, Humic Eutrudepts	Hormigas
			Dystric Fluventic Eutrudepts	Francosa-fina, Esmectítica, Dystric Fluventic Eutrudepts	Imprevisto
			Dystric Eutrudepts	Francosa-fina, Mezclada, Dystric Eutrudepts	Brachiaría
			Typic Eutrudepts	Fina, Mezclada, Dystric Eutrudepts	Mojado
			Typic Eutrudepts	Fina, Esmectítica, Typic Eutrudepts	Shapaja
			Fluventic Dystrudepts	Fina, Esmectítica, Fluventic Dystrudepts	Corte
			Typic Dystrudepts	Fina, Mezclada, Typic Dystrudepts	Brizantha
Alfisols	Udalfs	Hapludalfs	Typic Hapludalfs	Francosa-fina, Esmectítica, Typic Hapludalfs	Quinilla
				Fina, Esmectítica, Typic Hapludalfs	Lupuna
Ultisols	Udults	Paleudults	Typic Paleudults	Fina, Esmectítica, Typic Paleudults	Vaca

A nivel categórico de orden la superficie estudiada está cubierta por Entisoles representada por la consociación Monte Sinaí con un 8,33 por ciento; seguido de los Inceptisoles representada por las consociaciones Hormigas, Imprevisto, Brachiaria, Silencio, Mojado y Shapaja con un 46,84 por ciento; luego se encuentran a los Alfisoles representada por las consociaciones Quinilla y Lupuna con 32,35 por ciento; y por último los Ultisoles representada por la consociación Vaca con 9,45 por ciento (Figura 27). Según trabajos preliminares del INIPA la selva peruana posee siete órdenes de suelos dominantes, de los cuales los Ultisoles cubren el 65 por ciento del territorio, seguido por Entisoles e Inceptisoles con el 17 y 14 por ciento, respectivamente. Los Alfisoles, Vertisoles, Molisoles y Espodosoles, en conjunto sólo cubren el 4 por ciento del territorio amazónico (Rodríguez 1995).

En el paisaje de llanura fluvial dominan suelos pertenecientes al orden Inceptisols y para los suelos desarrollados en colinas predominan los Inceptisoles y Alfisoles principalmente. Según Rodríguez (1995), en los suelos de terrazas bajas de inundación periódica de la Amazonia peruana priman los Entisoles asociados con Inceptisoles. Sin embargo, en terrazas bajas de inundación eventual donde se observa mayor nivel de evolución de suelos, los Inceptisoles son predominantes. En las lomadas se han identificado con mayor incidencia a Inceptisoles, mientras que, en las colinas bajas y medias sobresalen los Inceptisoles asociados con Ultisoles, y también se encuentra a los Alfisoles. Los Inceptisoles muestran una diferenciación de horizontes A, B y C; se encuentran los de características bien drenados, fértiles y ubicados en topografías favorables (Eutrudepts) y a los Inceptisoles ácidos bien drenados (Dystrudepts). Los suelos Alfisoles se asemejan a los Ultisoles, pero tienen menor grado de acidez y son de fertilidad superior (Rodríguez 1995).

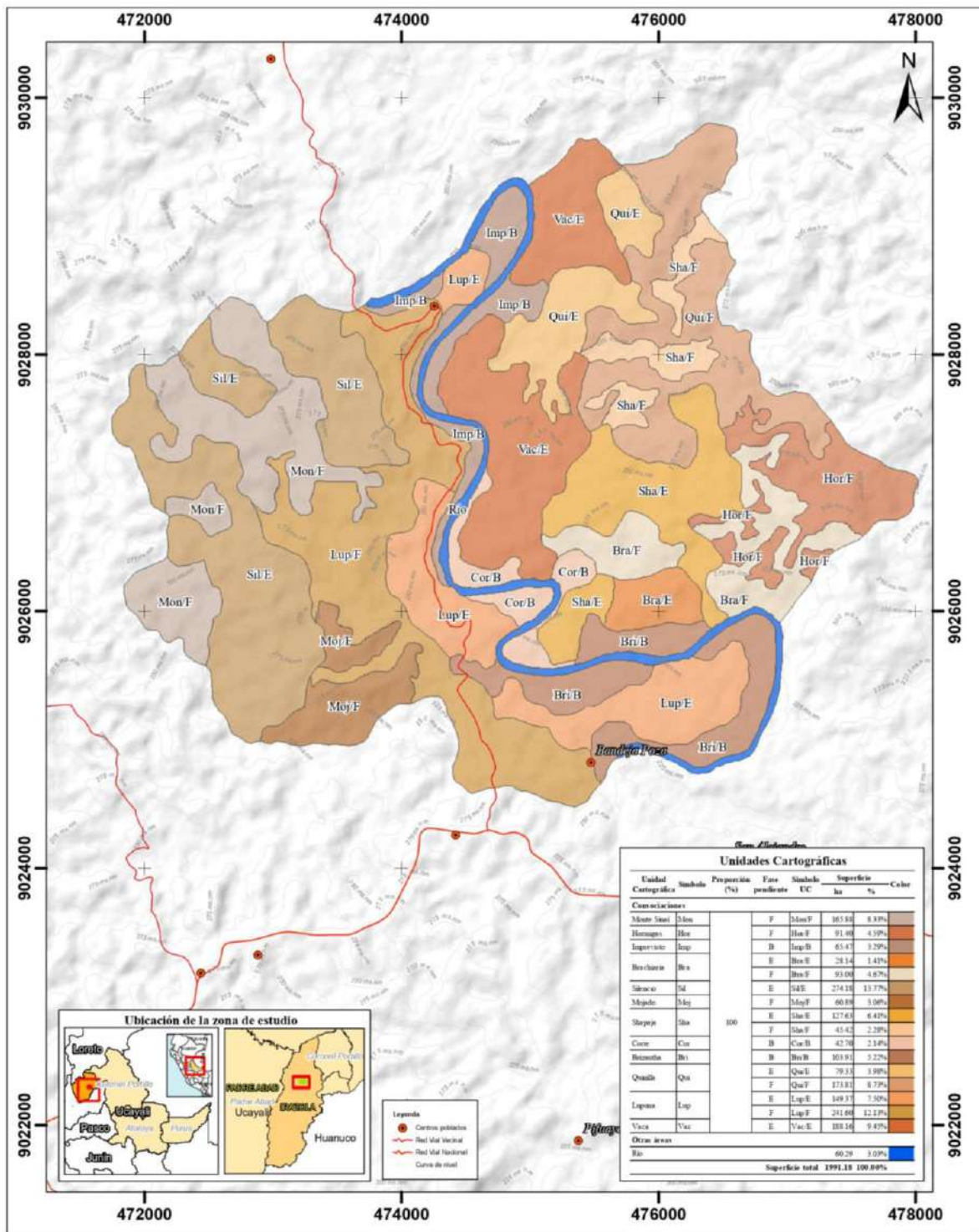
Los suelos del orden Ultisols y Entisols son los que menor proporción presentaron en el área de estudio. Los Ultisoles de los trópicos ocurren principalmente en áreas con déficit estacional de lluvia y/o en formas disectadas, en terrenos de altura de la Selva Baja, así como en terrazas antiguas y laderas en la Selva Alta. Son suelos que aún no han alcanzado la última etapa de meteorización. Su perfil se caracteriza por presentar colores rojo amarillento a rojo parduzco, muestra una secuencia de horizontes A-B-C con características de iluviación de arcilla en el horizonte B. Las películas de arcilla a menudo están presentes como expresión de la movilidad de la arcilla. Estos suelos suelen tener algunos minerales meteorizables y una mayor capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases. Su fracción arcillosa

puede contener además de la caolinita dominante y otros minerales arcillosos 1:1, alguna illita e incluso minerales arcillosos reticulares 2:1. La toxicidad por aluminio es rara, pero se pueden encontrar problemas de fijación de fósforo, especialmente cuando el pH del suelo cae por debajo del nivel crítico de 5,5 y presentan fertilidad natural baja (Verheye 2008; Porta 2003; Rodríguez 1995). Por otro lado, los suelos jóvenes denominados Entisoles presentan muy poca diferenciación en el perfil y se incluyen en este grupo a suelos profundos ubicados en pendientes (Orthents).

En los regímenes Údicos los suelos predominantes son Oxisoles, Ultisoles, Alfisoles e Inceptisoles (Sánchez 1981), siendo los tres primeros altamente meteorizados y se encuentran comúnmente en los trópicos húmedos (Soil Survey Staff 1999, como se citó en Soares 2005). En la etapa de desarrollo maduro en equilibrio con el trópico húmedo, el desarrollo pedogenético se limita a un Ultisol y Oxisol, en el que el horizonte subsuperficial adopta las características de un horizonte argílico con una saturación de bases relativamente baja (Verheye 2008). Los Oxisoles y Ultisoles constituyen el 43 por ciento de los suelos en los trópicos, mientras que, los Alfisoles constituyen otro 15 por ciento (Szott *et al.* 1991, como se citaron en Ryan *et al.* 2016). El proceso de formación de Alfisoles y Ultisoles generalmente se debe a una intensa lixiviación de solutos cuando la arcilla se mueve del horizonte A al B. (Soil Survey Staff 2006, como se citaron en Alvarado *et al.* 2014).

El análisis geoquímico y mineralógico de la transición de Entisoles e Inceptisoles a Oxisoles en los trópicos húmedos proporciona un contexto sobre los cambios temporales en los suelos tropicales, esta transición ocurre en un lapso de 30 ka a 120 ka (Ryan y Huertas 2009; Ryan *et al.* 2016, como se citaron en Pincusa *et al.* 2017).

Para fines de interpretación práctica en la Figura 27 se presenta doce consociaciones de suelos distribuidas según su fase de pendiente, donde resaltan las superficies ocupadas por las consociaciones Silencio en su fase de pendiente E (13,77 por ciento), Lupuna y Quinilla en su fase de pendiente F (12,13 y 8,73 por ciento respectivamente). Por el contrario, las consociaciones con menor representación son Corte en su fase de pendiente B (2,14 por ciento) y Brachiaria en su fase de pendiente E (1,41 por ciento).



Clasificación Natural de los Suelos					
Soil Taxonomy 2014					
Orden	Suborden	Grupo	Subgrupo	Familia	Suelo
Entisol	Orthic	Udorthic	Type Udorthic	Fuercia gruesa, Mezclada, Type Udorthic	Monte Suro
			Humic Entrodepts	Fuercia fina, Esudética, Humic Entrodepts	Huancayo
			Dystric Fluventic Entrodepts	Fuercia fina, Esudética, Dystric Fluventic, Entrodepts	Impervio
Inceptisol	Udyp	Entrodepts	Dystric Entrodepts	Fuercia fina, Esudética, Dystric Entrodepts	Boschosa
			Fluventic Dystric Entrodepts	Fuercia fina, Mezclada, Dystric Entrodepts	Silíceo
			Type Entrodepts	Fua, Esudética, Type Entrodepts	Majado
			Fluventic Dystric Entrodepts	Fua, Esudética, Fluventic Dystric Entrodepts	Shapaja
Alfisol	Udalf	Hapludalf	Type Hapludalf	Fua, Mezclada, Type Dystric Entrodepts	Corte
			Dystric Dystric Entrodepts	Fuercia fina, Esudética, Type Dystric Entrodepts	Boschosa
			Type Hapludalf	Fuercia fina, Esudética, Type Hapludalf	Quiñe
Ultisol	Udult	Pseudult	Type Pseudult	Fua, Esudética, Type Hapludalf	Lupas
			Type Pseudult	Fua, Esudética, Type Pseudult	Vaca

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
MAPA DE SUELOS

Tesis: *Génesis, Morfología, Mineralogía y Clasificación de los Suelos de Irazola – Padre Abad – Ucayali*

Tesista: *Vanessa O. Llamajo Rios*

Fecha: **Enero, 2023**

Escala: **1:50,000**

Datum: **WGS84**

Proyección: **UTM - 18 L**

Mapa N°: **3**

Figura 27. Mapa de suelos del área de estudio

V. CONCLUSIONES

- Según su material de origen los suelos se clasifican en fluviales y residuales.
- Los suelos fluviales se desarrollan en un paisaje de llanura fluvial del cuaternario y en los suelos residuales se distinguen a la Formación Ipururo y Chambira; ambas del Terciario y desarrollados en un paisaje de colinas. Se ubican dentro en una zona de vida de bosque húmedo-Tropical.
- Los suelos presentan desarrollo genético expresado por una secuencia de horizontes A/Bw/Bwt/C, algunos horizontes superficiales evidencian actividad antrópica.
- Los minerales dominantes son de tipo 2:1 que incluyen a la montmorillonita y vermiculita; seguido de los minerales de tipo 1:1 todas pertenecientes al grupo de los caolines.
- Se determinó 12 unidades de suelos clasificadas y descritas según el Sistema de Clasificación Taxonómica de Suelos (USDA, 2022) hasta el nivel categórico de Familia. En el Orden Entisols se presenta el Gran Grupo Udorthens que incluye un Subgrupo. Mientras que en el Orden Inceptisols se presenta el Gran Grupo Dystrudepts que incluye dos Subgrupos; y el Gran Grupo Eutrudepts incluye seis Subgrupos. En el Orden Alfisols se presenta el Gran Grupo Hapludalfs que incluye a dos Subgrupos y por último el Orden Ultisols presenta el Gran Grupo Paleudults e incluye un Subgrupo.

VI. RECOMENDACIONES

- Establecer mecanismos de investigación para la construcción de bases de datos y modelos de distribución de minerales para entender su relación con la génesis y manejo de los suelos tropicales.
- Validar y adaptar metodologías que permitan evaluar características importantes para hacer una adecuada clasificación de suelos.
- Considerar un estricto análisis de génesis y morfología antes de establecer usos intensivos del suelo en la Amazonia, a fin de garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos.
- Los estudios deben incluir una base detallada de la geología y geoquímica.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A., Mata, R. y Chinchilla, M. 2014. Arcillas Identificadas en Suelos de Costa Rica a Nivel Generalizado Durante el Periodo 1931-2014: II. Mineralogía de Arcillas en Suelos con Características Vérticas y Oxídico Caoliníticas. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 107-131. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242014000100007
- Barrantes, R. y Glave, M. 2014. *Amazonía Peruana y Desarrollo Económico*. [Amazonía peruana y desarrollo económico.pdf](#)
- Benites, J. R. 1985. *Suelos de la Amazonia Peruana: su Potencial de Uso y de Desarrollo* (Serie de separatas N° 9). INIPA, CIPA XVI, North Carolina State University. [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/293/1/Suelos de la amazonia peruana.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/293/1/Suelos_de_la_amazonia_peruana.pdf)
- Besoain, E. 1985. *Mineralogía de arcillas de suelos*. Bib. Orton IICA / CATIE.
- Bohn, H. L., McNeal, B. L. y OConnor, G. A. 1993. *Química del suelo*. (Orozco Mario Sánchez, Trans). Limusa.
- Bornemisza, E. y Alvarado, A. 1974. *Manejo de suelos en la América tropical*. University Consortium on Soils of the Tropics, Soil Science Dept., North Carolina State University. Raleigh, NC.
- Buol, S.W., Southard, R. J., Graham, R. C. y McDaniel, P. A. 2011. *Soil genesis and Classification*. WILEY-BLACKWELL.
- Campbell, K., Frailey, C. y Romero, L. 2006. The Pan-Amazonian Ucayali Peneplain, late Neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon River system. *ScienceDirect*, (239), 166-219.

- Centro de Investigación en Percepción Remota. 1997. *Una Nueva Aproximación a la Clasificación Fisiográfica del Terreno*. <https://baixardoc.com/preview/clasificacion-fisiografica-del-terreno-hugo-villota-5cd5df93231d5>
- Chen, P. Y. 2001. Mineralogy of Dickite and Nacrite from Northern Taiwan. *Clays and Clay Minerals*, 49(6), 586–595.
- Clausell Borja, J. V. 2001. Análisis Microestructural de Caolinitas y Génesis de Caolines en el Macizo Ibérico. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Lax*, (269), 11-99. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/6512>
- Ditzler, C. 2017. *A Glossary of Terms Used in Soil Survey and Soil Classification*. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-08/A_Glossary_of_Terms_Used_in_Soil_Survey_and_Classification.pdf
- Domus Consultoría Ambiental S.A.C. 2013. *Estudio de Impacto Ambiental para la Prospección Sísmica 2D en el Lote 131*. <https://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=22&idTitular=8903>
- Duchaufour, P. 1982. *Pedology: Pedogenesis and classification*. George Allen & Unwin.
- Duchaufour, P. 1998. *Handbook of Pedology*. A.A. Balkema.
- Dumont, JF. 1991. Rasgos morfoestructurales de la llanura amazónica del Perú: efecto de la neotéctonica sobre los cambios fluviales y la delimitación de las provincias morfológicas. *l'Institut Français d'Études Andines*, 21(3), 801-833.
- Fassbender, H. W. 1975. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. IICA.
- Fassbender, H. W. y Bornemisza, E. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. IICA.
- Gobierno Regional de Ucayali. s.f. *Zonificación Ecológica Económica Base para el Ordenamiento Territorial de la Región Ucayali*. [file:///C:/Users/ACER/Downloads/estudio_de_la_propuesta_de_zee%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ACER/Downloads/estudio_de_la_propuesta_de_zee%20(1).pdf)

Gobierno Regional de Ucayali. 2006. *Estrategia Regional de la Diversidad Biológica De Ucayali: Comisión Ambiental Regional de Ucayali*, <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL543.pdf>

Goluchowska, T. K. 2010. Ambiente y desarrollo sostenible: el caso de la ciudad de Yurimaguas. *Espacio y desarrollo*, 22, 53-63.

Imbellone, P. A., Beilinson, E., y Aguilera, E. Y. 2017. *Mineralogía de suelos*. Universidad Nacional de Avellaneda Ediciones. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/99530>

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 2002. *Propuesta de Zonificación Ecológica Económica de la Cuenca del Río Aguaytía*. <https://es.scribd.com/document/308202062/ZEE-Aguaytia>

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. 1997. *Geología de los Cuadrángulos de San Alejandro, Santa Rosa, Río Nova y Puerto Inca* (Boletín N° 98). <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/55>

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. 1997. *Mapa geológico del cuadrángulo San Alejandro*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/55>

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. 1999. *Geología de los cuadrángulos de Bolívar, Curaray, Santa Clotilde, Quebrada Aguablanca, Quebrada Sabaloyacu, San Lorenzo, Intuto, Río Pintoyacu, Río Mazán, Río Corrientes, Libertad, Río Nanay, Santa Rosa, Yacumana, Río. ItaYa, Yanayacu, Chapajilla Y Nauta*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/92>

Lal, R., Sanchez, P. A., Schwertmann, U., y Herbillon, A. J. 1992. Some Aspects of Fertility Associated with the Mineralogy of Highly Weathered Tropical Soils. *SSSA Special Publication*.

Latrubesse, EM. y Franzinelli, E. 2002. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology*, 44, 241–257.

Legros, J. P. 2013. *Major soil groups of the world: ecology, genesis, properties and classification*. (VAK Sarma, Trans). CRC Press.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. 2022. *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor*. <https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2022/04/2060758-1-1.pdf>

Ministerio del Ambiente. 2013. *Boletín: Serie de Indicadores N° 15: Indicadores Ambientales de Ucayali*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/serie-indicadores-no-15-indicadores-ambientales-ucayali>

Mirsal, I. A. 2008. *Soil pollution: origin, monitoring & remediation*. Springer Berlin.

Oficina de publicaciones de la Unión Europea. 2014. *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Luxemburgo.

Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. 1966. *Inventario, Evaluación e Integración de los Recursos Naturales de la zona del Río Pachitea*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/995>

Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. 1982. *Inventario, Evaluación detallada e Integración de los Recursos Naturales de la zona del Río Pachitea*.

Pincusa, L.N., Ryana, P.C., Huertas, F.J. y Alvarado, G.E. 2017. The influence of soil age and regional climate on clay mineralogy and cation exchange capacity of moist tropical soils: A case study from Late Quaternary chronosequences in Costa Rica. *Geoderma*, 308, 130–148.

Porta Casanellas, J. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa.

Programa APGEP-SENREM. 2001. *Enriquecimiento de Bosques en Formación en Suelos Aluviales de la Amazonía Peruana*. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/168?show=full>

Rasanen, ME., Salo, JS., Jungnert, H. y Romero, LT. 1990. Evolution of the Western Amazon Lowland Relief: impact of Andean foreland dynamics. *Terra Nova*, 2, 320-332.

Rodríguez, F. 1995. *El Recurso del Suelo en la Amazonia Peruana, Diagnostico para su Investigación (Segunda Aproximación)*. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/ST014.pdf>

- Ryan, P. C., y Huertas, F. J. 2009. The temporal evolution of pedogenic Fe–smectite to Fe–kaolin via interstratified kaolin–smectite in a moist tropical soil chronosequence. *Geoderma*, 151(1-2), 1–15.
- Ryan, P. C., Huertas, F. J., Hobbs, F. W. C., y Pincus, L. N. 2016. Kaolinite and halloysite derived from sequential transformation of pedogenic smectite and kaolinite-smectite in a 120 ka tropical soil chronosequence. *Clays and Clay Minerals*, 64(5), 639–667.
- Sánchez, P. A. 1981. *Suelos del Trópico Características y Manejo*. IICA.
- Sánchez, P. A. y Benites, J. R. 1983. *Opciones Tecnológicas para el Manejo Racional de Suelos en la Selva Peruana. Yurimaguas* (Serie de separatas N° 6). INIPA, CIPA XVI, North Carolina State University. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/298>
- Sánchez, P. A. y Buol, S.W. 1975. Los suelos del trópico y la crisis mundial de alimentos. INIPA. <http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/handle/inia/292>
- Schaetzl, R. J. y Anderson, S. 2005. *Soils: genesis and geomorphology*. Cambridge University Press.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. s.f. Descarga de datos Meteorológicos a nivel nacional. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Shulze, D. G. 1989. *An introduction to soil mineralogy*. En: Dixon, J. B., & Weed, S. B. (n.d.). *Minerals in Soil Environments*. SSSA Book.
- Soares, M. R., Alleoni, L. R. F., Vidal-Torrado, P., y Cooper, M. 2005. Mineralogy and ion exchange properties of the particle size fractions of some Brazilian soils in tropical humid areas. *Geoderma*, 125(3-4), 355–367.
- Sposito, G. 2016. *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press.
- Thompson, M. L. y Troeh, F. R. 1980. *Los suelos y su fertilidad*. Reverté, S.A.
- United States Department of Agriculture. 2017. *Soil survey manual*. Agriculture Handbook.
- Verheye, W. 2008. *Soils of the humid and sub-humid tropics*. In W. H. Verheye (Ed.), *Land use, land cover and soil sciences*. Oxford, UK: UNESCO-EOLSS.

Hong, H.G., Churchman, J., Gu, Y., Yin, K., y Wang, C. 2012. Kaolinite–smectite mixed-layer clays in the Jiujiang red soils and their climate significance. *Geoderma*, 173–174.

Zamora, C. y Bao, R. 1972. *Regiones Edáficas del Perú*. ONERN.
<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1059#:~:text=Asimismo%20describe%20cada%20una%20de,regi%C3%B3n%20Acris%C3%B3lica%20y%20regi%C3%B3n%20Ferrals%C3%B3lica>.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Ubicación geográfica de las calicatas.

N°	Código de calicata	Coordenadas*		Altitud (m s.n.m.)	Año de evaluación
		Este	Norte		
1	C-01	476537	9026102	197	
2	C-02	476455	9026722	274	
3	C-03	474230	9027592	203	
4	C-04	475671	9026866	264	
5	C-05	475251	9026352	210	
6	C-06	474798	9027538	221	2016
7	C-07	476007	9028807	246	
8	C-08	473862	9027286	237	
9	C-09	473003	9027517	285	
10	C-10	474168	9025912	203	
11	C-11	473950	9025401	236	
12	C-12	475389	9025634	201	

(*) Sistema de coordenadas UTM, Zona 18 M Sur / Datum WGS 84

Anexo 2: Perfil modal de los suelos de Irazola.

Perfil modal del suelo *Brachiaria*

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Francosa-fina, Esmectítica, Dystric Eutrudepts
Horizonte de diagnóstico	: Cámbico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Ladera de colina
Pendiente	: 25-50 %
Material parental	: Residual
Zona de vida	: Bosque húmedo-Tropical (bh-T).
Altitud	: 197 m.s.n.m.
Drenaje	: Bueno
Vegetación	: Pastos

Hrz.	Prof/cm	Descripción
Ap	00-14	Franco arcilloso; color pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; estructura granular fino, débil; consistencia friable; reacción moderadamente ácida (pH 6,10); contenido medio de materia orgánica (2,28 %); raíces finas comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bw1	14-50	Franco arcilloso; color pardo (7.5 YR 4/4) en húmedo; estructura bloque subangular medio, débil; consistencia firme; reacción moderadamente ácida (pH 6); contenido bajo de materia orgánica (1,38 %); raíces finas comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte difuso al
Bw2	50-120	Franco arcilloso arenoso; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; estructura bloque subangular medio, débil; consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 5); contenido bajo de materia orgánica (0,21 %); permeabilidad moderada; límite de horizonte difuso al

- BC 120-140 Franco arcilloso; color pardo fuerte (7.5 YR 4/6) en húmedo; estructura bloque subangular fino, débil; consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 5); contenido bajo de materia orgánica (0,69 %); permeabilidad moderada; límite de horizonte difuso al
- C 140-170 Franco arcilloso arenoso; color pardo fuerte (7.5 YR 4/6) en húmedo; sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción fuertemente ácida (pH 5,3); contenido bajo de materia orgánica (0,14 %); permeabilidad moderada.



Perfil modal del suelo Hormigas

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Francosa-fina, Esmectítica, Humic Eutrudepts
Horizonte de diagnóstico	: Cámbico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Ladera de colina
Pendiente	: 15-20 %
Material parental	: Residual
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T).
Altitud	: 274 m.s.n.m.
Drenaje	: Bueno
Vegetación	: Bosque

Hrz.	Prof/cm	Descripción
A	00-07	Arcilloso; color pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; estructura granular fino, moderado; consistencia friable; reacción neutra (pH 7,3); contenido alto de materia orgánica (7,59 %); raíces medias comunes; permeabilidad lenta; límite de horizonte difuso al
Bwt	07-40	Arcilloso; color pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; estructura bloque subangular fino, moderado; consistencia muy firme; reacción neutra (pH 6,7); contenido medio de materia orgánica (2,69 %); raíces medias y gruesas comunes; permeabilidad lenta: límite de horizonte difuso al
C	40-65	Franco arcilloso; color pardo fuerte (7.5 YR 4/6) en húmedo; sin estructura (masiva); consistencia muy firme; reacción moderadamente alcalina (pH 7,9); nivel medio de carbonatos (4,76 %); contenido bajo de materia orgánica (0,62 %); gravas finas 40 %; permeabilidad moderada; límite de horizonte abrupto al
CPL	65 a más	Contacto paralítico



Perfil modal del suelo Imprevisto

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Francosa-fina, Esmectítica, Dystric Fluventic Eutrudepts
Horizonte de diagnóstico	: Cámbico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Terraza baja
Pendiente	: 4-8 %
Material parental	: Fluvial
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T)
Altitud	: 203 m.s.n.m.
Drenaje	: Bueno
Vegetación	: Cacao

Hz.	Prof/cm	Descripción
Ap	00-10	Franco arcilloso; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; estructura granular fino débil; consistencia friable; reacción moderadamente ácida (pH 6,0); contenido medio de materia orgánica (2,28 %); raíces finas abundantes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
AB	10-55	Franco arcilloso arenoso; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6) en húmedo; estructura granular muy fino débil; consistencia friable; reacción fuertemente ácida (pH 5,5); contenido bajo de materia orgánica (1,38 %); raíces finas comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bwt	55-103	Franco arcilloso arenoso; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6) en húmedo; estructura bloque subangular medio moderado; consistencia firme; reacción moderadamente ácida (pH 5,7); contenido medio de materia orgánica (2,21 %); permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
C	103-150	Franco arcilloso; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6) en húmedo; sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción moderadamente ácida (pH: 5,8); contenido bajo de materia orgánica (0,07 %); permeabilidad moderada.

Perfil modal del suelo Shapaja

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Fina, Esmecciónica, Typic Eutrudepts
Horizonte de diagnóstico	: Cámbico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Ladera de colina
Pendiente	: 25-50 %
Material parental	: Residual
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T)
Altitud	: 264 m.s.n.m.
Drenaje	: Moderado
Vegetación	: Purma baja

Hrz.	Prof/cm	Descripción
A	00-09	Franco arcilloso arenoso; color pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; estructura granular fino débil; consistencia friable; reacción ligeramente alcalina (pH 7,8); nivel medio de carbonatos (4,23 %); contenido alto de materia orgánica (6,62 %); raíces finas pocas; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
AB	09-20	Franco arcilloso; color pardo oscuro (7.5 YR 5/8) en húmedo; estructura granular muy fino débil; consistencia firme; reacción ligeramente ácida (pH 6,1); contenido medio de materia orgánica (3,24 %); raíces finas pocas; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bwt	20-48	Arcilloso; color rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo; estructura bloque subangular medio moderado; consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,6); contenido bajo de materia orgánica (0.76 %); permeabilidad lenta; límite de horizonte difuso al
C1	48-90	Franco arcilloso; color gris rosáceo (5 YR 7/2) en húmedo, 30 % de moteaduras de color rojo amarillento (5 YR 5/6); sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH

4,7); contenido bajo de materia orgánica (1,52 %); permeabilidad lenta; límite de horizonte difuso al

C2 90-150 Arcilloso; color blanco (7.5 YR 8/1) en húmedo, 30 % de moteaduras de color rojo amarillento (7.5 YR 5/6); sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,7); contenido bajo de materia orgánica (0,07 %) permeabilidad lenta.



Perfil modal del Suelo Corte

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Fina, Esmectítica, Fluventic Dystrudepts
Horizonte de diagnóstico	: Cámbico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Terraza baja
Pendiente	: 4-8 %
Material parental	: Fluvial
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T)
Altitud	: 210 m.s.n.m.
Drenaje	: Moderado
Vegetación	: Cacao

Hrz.	Prof/cm	Descripción
Ap	00-11	Franco; color pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; estructura granular medio débil; consistencia friable; reacción fuertemente ácida (pH 5,3); contenido alto de materia orgánica (4,14 %); raíces finas comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bwt	11-57	Arcilloso; color pardo amarillento (10 YR 5/6) en húmedo; estructura bloque subangular medio débil; consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,6); contenido bajo de materia orgánica (1,31 %); raíces finas y gruesas pocas; permeabilidad lenta; límite de horizonte difuso al
C1	57-85	Franco arcilloso; color pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo; sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,7); contenido bajo de materia orgánica (0,55 %); raíces finas pocas; permeabilidad moderada; límite de horizonte difuso al
C2	85-150	Arcilloso; color pardo (7.5 YR 5/4) en húmedo, 10 % de moteaduras de color pardo fuerte (7.5 YR 5/8); sin estructura (masiva);

consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 5,0);
contenido bajo de materia orgánica (1,38 %); permeabilidad lenta.



Perfil modal del suelo Vaca

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Fina, Esmectítica, Typic Paleudults
Horizonte de diagnóstico	: Argílico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Lomada
Pendiente	: 15-25 %
Material parental	: Residual
Zona de vida	: Bosque húmedo-Tropical (bh-T)
Altitud	: 221 m.s.n.m.
Drenaje	: Moderado
Vegetación	: Purma baja

Hrz.	Prof/cm	Descripción
A	00-11	Franco arcilloso arenoso; color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; estructura granular medio débil; consistencia friable; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,9); contenido alto de materia orgánica (6,76 %); raíces finas abundantes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
AB	11-24	Franco arcilloso arenoso; color pardo amarillento (10 YR 5/6) en húmedo; estructura granular muy fino débil; consistencia friable; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,5); contenido bajo de materia orgánica (1,66 %); raíces finas comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bwt1	24-55	Arcilloso; color gris rosáceo (7.5 YR 7/2) en húmedo, 40 % de moteaduras de color rojo (2.5 YR 4/8); estructura bloque subangular medio débil; consistencia firme; reacción extremadamente ácida (pH 4,4); contenido bajo de materia orgánica (0,62 %); raíces finas pocas; permeabilidad lenta; límite de horizonte difuso al
Bwt2	55-70	Arcilloso; color gris rosáceo (7.5 YR 7/2) en húmedo, 40 % de moteaduras de color rojo (2.5 YR 4/8); estructura bloque subangular

		medio débil; consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,5); contenido bajo de materia orgánica (0,69 %); raíces finas pocas; permeabilidad lenta; límite de horizonte gradual al
C1	70-110	Arcilloso; color gris claro (5 YR 7/1) en húmedo, 20 % de moteaduras de color rojo (2.5 YR 4/8); sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,5); contenido bajo de materia orgánica (0,48 %); permeabilidad lenta; límite de horizonte gradual al
C2	110-150	Arcilloso; color blanco (5 YR 8/1) en húmedo, 10 % de moteaduras de color rojo (2.5 YR 4/8); sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción extremadamente ácida (pH 4,4); contenido bajo de materia orgánica (0,28 %); permeabilidad lenta.

Perfil modal del suelo Quinilla

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Francosa-fina, Esmectítica, Typic Hapludalfs
Horizonte de diagnóstico	: Argílico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Ladera de colina
Pendiente	: 25-50 %
Material parental	: Residual
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T)
Altitud	: 246 m.s.n.m.
Drenaje	: Bueno
Vegetación	: Purma baja

Hz.	Prof/cm	Descripción
A	00-10	Franco; color pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; estructura granular medio débil; consistencia friable; reacción neutra (pH 7,2); contenido medio de materia orgánica (3,52 %); raíces medias comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bwt	10-32	Franco arcilloso; color pardo (10 YR 4/3) en húmedo; estructura bloque subangular fino débil; consistencia firme; reacción moderadamente ácida (pH 6,0); contenido bajo de materia orgánica (1,79 %); raíces medias comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bw	32-50	Franco arcilloso; color rojo amarillento (5 YR 5/6) en húmedo; estructura bloque subangular medio débil; consistencia firme; reacción moderadamente ácida (pH 5,9); contenido bajo de materia orgánica (0,62 %); raíces finas pocas; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
C	50-85	Franco arcilloso arenoso; color amarillo rojizo (5 YR 6/6) en húmedo; sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción ligeramente alcalina (pH 7,7); nivel alto de carbonatos (10,04 %);

contenido bajo de materia orgánica (0,28 %); grava fina 40 %;
permeabilidad moderada; límite de horizonte abrupto al

CPL 85 a más Contacto paralítico



Perfil modal del suelo Silencio

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Francosa-fina, Mezclada, Dystric Eutrudepts
Horizonte de diagnóstico	: Cámbico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Ladera de colina
Pendiente	: 15-25 %
Material parental	: Residual
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T)
Altitud	: 237 m.s.n.m.
Drenaje	: Moderado
Vegetación	: Bosque

Hrz.	Prof/cm	Descripción
A	00-11	Franco arcilloso; color pardo (10 YR 4/3) en húmedo; estructura granular fino débil; consistencia friable; reacción fuertemente ácida (pH 5,3); contenido medio de materia orgánica (2,76 %); raíces medias comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bw1	11-22	Franco arcilloso arenoso; color pardo (10 YR 4/3) en húmedo; estructura bloque subangular medio débil; consistencia friable; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,9); contenido bajo de materia orgánica (1,31 %); raíces medias comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bw2	22-44	Franco arcilloso arenoso; color pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo; estructura bloque subangular medio débil; consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,7); contenido bajo de materia orgánica (0,69 %); raíces medias pocas; permeabilidad moderada.; límite de horizonte gradual al
C	44-76	Franco arcilloso arenoso; color pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo, 20 % de moteaduras de color pardo fuerte (7.5 YR 5/8); sin

- estructura (masiva); consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,7); contenido bajo de materia orgánica (0,21 %); raíces finas pocas; permeabilidad moderada; límite de horizonte difuso al
- Cc1 76-97 Franco arcilloso; color gris claro (10 YR 7/1) en húmedo, 30 % de moteaduras de color pardo fuerte (7.5 YR 5/6); sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,8); contenido bajo de materia orgánica (0,21 %); raíces finas pocas; permeabilidad moderada; límite de horizonte difuso al
- Cc2 97-125 Franco arcilloso; color gris (10 YR 6/1) en húmedo, 30 % de moteaduras de color pardo fuerte (7.5 YR 5/6); sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,8); contenido bajo de materia orgánica (0,07 %); raíces muy finas pocas; permeabilidad moderada.



Perfil modal del suelo Monte Sinaí

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Francosa-gruesa, Mezclada, Typic Udorthents
Horizonte de diagnóstico	: -
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Ladera de colina
Pendiente	: 50 %
Material parental	: Residual
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T)
Altitud	: 285 m.s.n.m.
Drenaje	: Algo excesivo
Vegetación	: Cacao

Hrz.	Prof/cm	Descripción
Ap	00-38	Arena franca; color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; estructura granular fino débil; consistencia muy friable; reacción ligeramente ácida (pH 6,1); contenido medio de materia orgánica (2,00 %); raíces gruesas comunes; permeabilidad rápida; límite de horizonte gradual al
AC	38-68	Arena franca; color pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; estructura granular muy fino débil; consistencia muy friable; reacción ligeramente ácida (pH 6,3); contenido bajo de materia orgánica (0,48 %); raíces medias pocas; permeabilidad rápida; límite de horizonte gradual al
C1	68-80	Franco arenoso; color pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; sin estructura (masiva); consistencia friable; reacción ligeramente ácida (pH 6,3); contenido bajo de materia orgánica (0,55 %); raíces medias pocas; permeabilidad moderadamente rápida; límite de horizonte gradual al,

C2 80-150 Arenoso; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6) en húmedo; sin estructura (grano simple); consistencia suelta; reacción ligeramente ácida (pH 6,1); contenido bajo de materia orgánica (0,14 %); permeabilidad muy rápida.



Perfil modal del suelo Lupuna

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Fina, Esmectítica, Typic Hapludalfs
Horizonte de diagnóstico	: Argílico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Lomada
Pendiente	: 15-20 %
Material parental	: Residual
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T)
Altitud	: 203 m.s.n.m.
Drenaje	: Bueno
Vegetación	: Bosque

Hrz.	Prof/cm	Descripción
A	00-11	Franco arcilloso; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; estructura granular fino débil; consistencia muy friable; reacción moderadamente ácida (pH 5,9); contenido medio de materia orgánica (3,72 %); raíces medias abundantes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bwt1	11-25	Franco arcilloso; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; estructura bloque subangular fino débil; consistencia firme; reacción fuertemente ácida (pH 5,4); contenido bajo de materia orgánica (1,86 %); raíces medias comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bwt2	25-56	Franco arcilloso; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6) en húmedo; estructura bloque subangular, fino, moderado; consistencia firme; reacción fuertemente ácida (pH 5,3); contenido bajo de materia orgánica (1,17 %); raíces medias pocas; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
C	56-100	Arcilloso; color pardo fuerte (7.5 YR 4/6) en húmedo; sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción moderadamente ácida (pH

5,7); contenido bajo de materia orgánica (0,69 %); permeabilidad
lenta; límite de horizonte abrupto al

CPL 100 a más Contacto paralítico



Perfil modal del suelo Mojado

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Fina, Mezclada, Dystric Eutrudepts
Horizonte de diagnóstico	: Cámbico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Ladera de colina
Pendiente	: 15-25 %
Material parental	: Residual
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T)
Altitud	: 236 m.s.n.m.
Drenaje	: Moderado
Vegetación	: Bosque

Hrz.	Prof/cm	Descripción
A	00-07	Franco arenoso; color negro (7.5 YR 2.5/1) en húmedo; estructura granular fino débil; consistencia friable; reacción moderadamente ácida (pH 5,9); contenido alto de materia orgánica (6,62 %); raíces muy finas abundantes; permeabilidad moderadamente rápida; límite de horizonte claro al
Bw	07-33	Franco; color pardo (10 YR 5/3) en húmedo; estructura bloque subangular medio débil; consistencia firme; reacción ligeramente ácida (pH 6,4); contenido bajo de materia orgánica (1,45 %); raíces finas pocas; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bwt	33-85	Arenoso; color gris rosáceo (7.5 YR 7/2) en húmedo, 30 % de moteaduras de color pardo fuerte (7.5 YR 5/6); estructura bloque subangular fino débil; consistencia firme; reacción neutra (pH 6,6); contenido bajo de materia orgánica (0,14 %); permeabilidad muy rápida; límite de horizonte gradual al
C	85-150	Franco arenoso; color gris (7.5 YR 6/1) en húmedo, 20 % de moteaduras de color pardo fuerte (7.5 YR 5/8); sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción moderadamente ácida (pH:

5,9); contenido bajo de materia orgánica (0,55 %); permeabilidad moderadamente rápida.



Perfil modal del suelo Brizantha

Localidad	: Irazola
Soil Taxonomy, 2022	: Fina, Mezclada, Typic Dystrudepts
Horizonte de diagnóstico	: Cámbico
Régimen humedad	: Údico
Régimen Temperatura	: Isohipertérmico
Fisiografía	: Terraza baja
Pendiente	: 2-4 %
Material parental	: Fluvial
Zona de vida	: Bosque húmedo- Tropical (bh-T)
Altitud	: 201 m.s.n.m.
Drenaje	: Moderado
Vegetación	: Pastos

Hrz.	Prof/cm	Descripción
A	00-13	Franco; color pardo rojizo oscuro (5 YR 3/2) en húmedo; estructura granular fino moderado; consistencia friable; reacción muy fuertemente ácida (pH 4,9); contenido medio de materia orgánica (3,52 %); raíces finas comunes; permeabilidad moderada; límite de horizonte gradual al
Bw	13-40	Franco; color pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo; estructura bloque subangular fino débil; consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 5,0); contenido bajo de materia orgánica (0,69 %); raíces finas pocas; permeabilidad moderada, límite de horizonte gradual al
C	40-150	Franco arcilloso; color gris pardusco claro (10 YR 6/2) en húmedo, 30 % de moteaduras de color rojo (2.5 YR 4/6); sin estructura (masiva); consistencia firme; reacción muy fuertemente ácida (pH 5,0); contenido bajo de materia orgánica (0,28 %); permeabilidad moderada.



Anexo 3: Tarjetas de descripción de perfiles de suelos.

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS Vanessa O. Llamoja Ríos		FECHA y HORA 19/08/2016 10:45 a.m	Coord. UTM 0476537 9026102	CALICATA C-1
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Ladera de colina	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 25-50	VEGETACION Pastos	ALTITUD msnm 197
0	MATERIAL PARENTAL Residual	PEDREG. SUPERF (%) -	F.GEO / LITO F. Chambira	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderada	DRENAJE Bueno	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Ócrico	HORZ. SUBS. Cámbico	CARAC. DIAG. NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3		NAPA FREATI -				
	SOIL TAXONOMY (2014) Francosa-fina, Esmectítica, Dystric Eutrodepts	NOMBRE SUELO Brachiaría	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL -	MUESTRAS 1,2,3,4
C	PROFUNDIDAD (cm)	00-14	14-50	50-120	120-140	140-170
A	HORIZONTE Genético	Ap	Bw1	Bw2	BC	C
R	COLOR (Munsell)	Hum 10 YR 3/3	7.5 YR 4/4	10 YR 4/4	7.5 YR 4/6	7.5 YR 4/6
A		Sec 10 YR 5/3	7.5 YR 5/4	10 YR 6/4	7.5 YR 5/4	7.5 YR 5/6
C	MOTEADO	Col				
T		%				
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	45-27-28	41-29-30	49-21-30	39-29-32	67-13-20
R	CLASE TEXTURAL	Cmp				
F		Lab	FrAr	FrAr	FrArA	FrArA
I	FRAGM. GRUESOS	Tipo				
S		%				
S	ESTRUCTURA	Gr f-1	Bs m-2	Bs m-2	Bs f-1	M
I	CONSISTENCIA	fr	fm	fm	fm	fm
C	RAICES	f-c	f-c	-	-	-
A	LIMITE	G	D	D	D	-
S	OTRAS CARACT.					
C	pH	6.1	5.9	5.0	4.9	5.2
A	CARBONATOS (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R	C.E. (dS/m)					
A	PSI (%)					
C	MATER ORGANICA, (%)	2.28	1.38	0.21	0.69	0.14
T	CARBONO ORGANICO (%)	1.32	0.80	0.12	0.40	0.08
E	P (mg/kg suelo)	7.7	11.7	47.7	6.3	57
R	K (mg/kg suelo)	97	111	128	104	76
Q	CIC SUELO (cmol(+)/ kg suelo)	SC				
U		Acet	20.00	18.88	23.68	24.64
I		Ca	15.90	16.10	14.80	14.70
M	CACIONES	Mg	2.35	2.22	2.40	1.89
I	CAMBIABLES	K	0.19	0.24	0.26	0.26
M	(cmol(+)/ kg suelo)	Na	0.17	0.16	0.27	0.22
I		Al	0.20	0.40	2.80	3.00
c	SATURACION BASES	Acc	93	99	75	69
A	(%)	SC	99	98	86	85
S	CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)					

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS Vanessa O. Llamaja Rios		FECHA y HORA 19/08/2016 2:00 p.m	Coord. UTM 0476455 9026722	CALICATA C-2
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Ladera de colina	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 15-20	VEGETACION Bosque	ALTITUD msnm 274
0	MATERIAL PARENTAL Residual	PEDREG. SUPERF (%) -	F.GEO/LITO F. Chambira	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderadamente lenta	DRENAJE Bueno NAPA FREATI -	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Ócrico	HORZ. SUBS. Cámbico	CARAC. DIAG. Contacto paralítico NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3	SOIL TAXONOMY (2014) Francosa-fina, Esmectítica, Húmic Eutrupepts		NOMBRE SUELO Hormigas	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL - MUESTRAS 1,2,3
C						
PROFUNDIDAD (cm)		00-07	07-40	40-65	65+	
A HORIZONTE Genético		A	Bwt	C	CPL	
R COLOR (Munsell)	Hum	7.5 YR 3/2	10 YR 3/3	7.5 YR 4/6		
	Sec	7.5 YR 4/2	10 YR 4/3	7.5 YR 5/6		
C MOTEADO	Col					
	%					
E AREN-LIM-ARCILLA	(%)	27-31-42	27-27-46	37-29-34		
R CLASE TEXTURAL	Cmp					
	Lab	Ar	Ar	FrAr		
F FRAGM. GRUESOS	Tipo			Grava, fina		
	%			40%		
S ESTRUCTURA		Gr f-2	Bs f-2	M		
I CONSISTENCIA		fr	mfm	mfm		
C RAICES		m-c	m,g-c	-		
A LIMITE		D	D	A		
S OTRAS CARACT.						
C						
pH		7.3	6.7	7.9		
A CARBONATOS (%)		0.00	0.00	4.76		
R C.E. (dS/m)						
A PSI (%)						
C MATER ORGANICA.(%)		7.59	2.69	0.62		
T CARBONO ORGANICO (%)		4.40	1.56	0.36		
E P (mg/kg suelo)		24.6	6.7	6.7		
R K (mg/kg suelo)		171	145	90		
Q CIC SUELO (cmol(+)/ kg suelo)	Ace	40.32	33.60	29.28		
	SC					
U CATIONES CAMBIABLES (cmol(+)/ kg suelo)	Ca	26.30	23.80	29.40		
	Mg	3.95	2.32	1.53		
M I (cmol(+)/ kg suelo)	K	0.36	0.29	0.16		
	Na	0.13	0.17	0.17		
I c SATURACION BASES (%)	Al	0.00	0.00	0.00		
	Ace	76	79	100		
A (%)	SC	100	100	100		
S CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)						

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DED TESIS		FECHA y HORA	Coord. UTM	CALICATA
		Vanessa O. Llamoja Rios		20/08/2016 11:30 p.m	0474230 9027592	C-3
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Terraza baja	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 4-8	VEGETACION Cacao	ALTITUD msnm 203
0	MATERIAL PARENTAL Aluvial	PEDREG. SUPERF (%) -	F.GEO / LITO Dep. Aluvial	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderadamente rápida	DRENAJE Bueno NAPA FREATI -	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Órico	HORZ. SUBS. Cámbico	CARAC. DIAG. NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3	SOIL TAXONOMY (2014) Francosa-fina, Esmectítica, Dystric Fluventic Eutrupepts		NOMBRE SUELO Imprevisto	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL - MUESTRAS 1,2,3,4
C	PROFUNDIDAD (cm)	00-10	10-55	55-103	103-150	
A	HORIZONTE Genético	Ap	AB	Bwt	C	
R	COLOR (Munsell)	Hum 10 YR 4/4	10 YR 4/6	10 YR 4/6	10 YR 4/6	
A		Sec 10 YR 6/4	10 YR 5/6	10 YR 5/6	10 YR 5/8	
C	MOTEADO	Col %				
T						
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	71-13-16	61-19-20	51-23-26	73-13-14	
R	CLASE TEXTURAL	Cmp Lab	FrA	FrArA	FrArA	FrA
F	FRAGM. GRUESOS	Tipo %				
I						
S	ESTRUCTURA	Gr f-1	Gr mf-1	Bs m-2	M	
I	CONSISTENCIA	fr	fr	fm	fm	
C	RAICES	f-a	f-c	-	-	
A	LIMITE	G	G	G	-	
S	OTRAS CARACT.			Clay-skins		
C	pH	6.0	5.5	5.7	5.8	
A	CARBONATOS (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	
R	C.E. (dS/m)					
A	PSI (%)					
C	MATER ORGANICA.(%)	2.28	1.38	2.21	0.07	
T	CARBONO ORGANICO (%)	1.32	0.80	1.28	0.04	
E	P (mg/kg suelo)	33.7	17.4	10.1	33.7	
R	K (mg/kg suelo)	84	66	82	63	
	CIC SUELO	SC				
	(cmol(+)/ kg suelo)	Acet	14.17	15.20	19.68	12.00
Q		Ca	12.00	12.60	16.00	11.50
U	CATIONES	Mg	1.47	1.15	1.02	0.91
I	CAMBIABLES	K	0.17	0.14	0.19	0.15
M	(cmol(+)/ kg suelo)	Na	0.13	0.12	0.15	0.17
I		Al	0.40	0.40	0.40	0.40
c	SATURACION BASES	Ace	99	92	88	100
A	(%)	SC	97	97	98	97
S	CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)					

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS		FECHA y HORA	Coord. UTM	CALICATA	
		Vanessa O. Llamoja Rios		18/08/2016 11:30 p.m	0475671 9026866	C-4	
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Ladera de colina	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 25-50	VEGETACION Purma baja	ALTITUD msnm 264	
0	MATERIAL PARENTAL Residual	PEDREG. SUPERF (%) -	F.GEO / LITO F. Chambira	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico	REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderadamente lenta	DRENAJE Moderado NAPA FREATI -	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Órico	HORZ. SUBS. Cámbico	CARAC. DIAG.	NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3	SOIL TAXONOMY (2014) Fina, Esmeclítica, Typic Eutrudepts	NOMBRE SUELO Shapaja		ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL -	MUESTRAS 1,2,3,4,5
C	PROFUNDIDAD (cm)	00-09	09-20	20-48	48-90	90-150	
A	HORIZONTE Genético	A	AB	Bwt	C1	C2	
R	COLOR (Munsell)	Hum 7.5 YR 3/2	7.5 YR 5/8	5 YR 4/6	5 YR 7/2	7.5 YR 8/1	
A		Sec 7.5 YR 2.5/2	7.5 YR 6/6	5 YR 5/6	5 YR 8/1	7.5 YR 8/1	
C	MOTEADO	Col			5YR 5/6	7.5YR5/6	
T		%			30	30	
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	53-27-20	43-23-34	37-23-40	37-25-38	27-23-50	
R	CLASE TEXTURAL	Cmp					
F		Lab	FrArA	FrAr	Ar	FrAr	Ar
I	FRAGM. GRUESOS	Tipo					
S		%					
S	ESTRUCTURA	Gr f-1	Gr mf-1	Bs m-2	M	M	
I	CONSISTENCIA	fr	fm	fm	fm	fm	
C	RAICES	f-p	f-p	-	-	-	
A	LIMITE	G	G	D	D	-	
S	OTRAS CARACT.						
C	pH	7.8	6.1	4.6	4.7	4.7	
A	CARBONATOS (%)	4.23	0.00	0.00	0.00	0.00	
R	C.E. (dS/m)						
A	PSI (%)						
C	MATER ORGANICA.(%)	6.62	3.24	0.76	1.52	0.07	
T	CARBONO ORGANICO (%)	3.84	1.88	0.44	0.88	0.04	
E	P (mg/kg suelo)	45.5	5.9	7.1	5.2	4.2	
R	K (mg/kg suelo)	306	333	155	176	137	
	CIC SUELO	SC					
	(cmol(+)/ kg suelo)	Acet	19.20	16.96	26.56	27.68	29.28
Q		Ca	26.50	11.90	6.23	5.78	9.61
U	CACIONES	Mg	1.58	1.65	1.84	1.73	2.22
I	CAMBIABLES	K	0.75	0.79	0.38	0.26	0.31
M	(cmol(+)/ kg suelo)	Na	0.14	0.14	0.18	0.21	0.43
I		Al	0.00	0.00	14.00	16.20	12.20
c	SATURACION BASES	Ace	100	85	33	29	43
A	(%)	SC	100	100	38	33	45
S	CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)			64	64		

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS		FECHA y HORA	Coord. UTM	CALICATA	
		Vanessa O. Llamoja Rios		18/08/2016 12:45 p.m	0475251 9026352	C-5	
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Terraza baja	MICRORELIEVE Ondulado suave	PENDIENTE (%) 4-8	VEGETACION Cacao	ALTITUD msnm 210	
0	MATERIAL PARENTAL Aluvial	PEDREG. SUPERF (%) -	F.GEO / LITO Dep. Aluvial	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico	REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderadamente lento	DRENAJE Moderado	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Ócrico	HORZ. SUBS. Cámbico	CARAC. DIAG.	NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3		NAPA FREATI -					
SOIL TAXONOMY (2014) Fina, Esmectítica, Fluventic Dystrudepts		NOMBRE SUELO Corte	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL -	MUESTRAS 1,2,3,4	
C PROFUNDIDAD (cm)		00-11	11-57	57-85	85-150		
A HORIZONTE Genético		Ap	Bwt	C1	C2		
R A	COLOR (Munsell)	Hum 10 YR 3/3	10 YR 5/6	10 YR 5/4	7.5 YR 5/4		
		Sec 10 YR 6/2	10 YR 6/6	10 YR 6/4	7.5 YR 6/4		
C T	MOTEADO				7.5 YR 5/8		
					10		
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	35-39-26	25-31-44	29-33-38	21-33-46		
R	CLASE TEXTURAL	Cmp					
		Lab Fr	Ar	FrAr	Ar		
F I	FRAGM. GRUESOS	Tipo					
		%					
S	ESTRUCTURA	Gr m-1	Bs m-1	M	M		
I	CONSISTENCIA	fr	fm	fm	fm		
C	RAICES	f-c	f,g-p	f-p	-		
A	LIMITE	G	D	D	-		
S	OTRAS CARACT.						
C pH		5.3	4.6	4.7	5.0		
A CARBONATOS (%)		0.00	0.00	0.00	0.00		
R C.E. (dS/m)							
A PSI (%)							
C MATER ORGANICA. (%)		4.14	1.31	0.55	1.38		
T CARBONO ORGANICO (%)		2.40	0.76	0.32	0.80		
E P (mg/kg suelo)		10.5	12.1	12.9	39.2		
R K (mg/kg suelo)		119	135	166	204		
CIC SUELO		SC					
(cmol(+)/ kg suelo)		Acet 26.88	34.88	38.40	36.64		
Q U	CACIONES	Ca 16.30	13.80	11.50	16.40		
		Mg 3.29	2.21	1.32	1.86		
I M	CAMBIABLES	K 0.28	0.32	0.40	0.33		
	(cmol(+)/ kg suelo)	Na 0.16	0.39	1.05	1.73		
I A	SATURACION BASES	Al 0.20	12.40	16.00	9.20		
	(%)	Acc 75	48	37	55		
		SC 99	57	47	69		
S CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)							

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS		FECHA y HORA	Coord. UTM	CALICATA		
		Vanessa O. Llamoja Rios		20/08/2016 9:15 a.m	0474798 9027538	C-6		
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Lomada	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 15-25	VEGETACION Purma baja	ALTITUD msnm 221		
0	MATERIAL PARENTAL Residual	PEDREG. SUPERF (%) -	F.GEO / LITO F. Chambira	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico REG. TEMP Isohipertérmico		
1	PERMEABILIDAD Moderadamente lenta	DRENAJE Moderado NAPA FREATI -	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Ócrico	HORZ. SUBS. Argílico	CARAC. DIAG. NIVEL ESTUDIO Semidetallado		
3	SOIL TAXONOMY (2014) Fina, Esmectílica, Typic Paleudults		NOMBRE SUELO Vaca	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL - MUESTRAS 1,2,3,4,5,6		
C PROFUNDIDAD (cm)		00-11	11-24	24-55	55-70	70-110	110-150	
A HORIZONTE Genético		A	AB	Bwt1	Bwt2	C1	C2	
R A	COLOR (Munsell)	Hum	10 YR 3/2	10 YR 5/6	7.5 YR 7/2	7.5 YR 7/2	5 YR 7/1	5 YR 8/1
		Sec	10 YR 4/2	10 YR 7/4	7.5 YR 8/2	7.5 YR 8/2	5 YR 8/1	5 YR 8/1
C T	MOTEADO	Col			2.5 YR 4/8	2.5 YR 4/8	2.5 YR 4/8	2.5 YR 4/8
		%			40	40	20	10
E	AREN-LIM-ARCILLA	(%)	57-23-20	45-25-30	37-23-40	27-25-48	25-31-44	27-31-42
R	CLASE TEXTURAL	Cmp						
		Lab	FrArA	FrArA	Ar	Ar	Ar	Ar
F I	FRAGM. GRUESOS	Tipo						
		%						
S	ESTRUCTURA		Gr m-1	Gr mf-1	Bs m-1	Bs m-1	M	M
I	CONSISTENCIA		fr	fr	fm	fm	fm	fm
C	RAICES		f-a	f-c	f-p	f-p	-	-
A	LIMITE		G	G	D	G	G	-
S	OTRAS CARACT.				Clay-skins	Clay-skins		
C	pH		4.9	4.5	4.4	4.5	4.5	4.4
A	CARBONATOS (%)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R	C.E. (dS/m)							
A	PSI (%)							
C	MATER ORGANICA.(%)		6.76	1.66	0.62	0.69	0.48	0.28
T	CARBONO ORGANICO (%)		3.92	0.96	0.36	0.40	0.28	0.16
E	P (mg/kg suelo)		24.0	5.7	3.6	3	3.2	4.2
R	K (mg/kg suelo)		538	217	93	107	109	219
Q	CIC SUELO	SC						
	(cmol(+)/ kg suelo)	Acet	20.32	15.20	15.52	16.48	16.96	37.60
U	CACIONES CAMBIABLES	Ca	5.65	3.51	2.70	2.39	2.48	2.58
		Mg	2.45	1.37	0.92	1.04	1.20	4.58
M	(cmol(+)/ kg suelo)	K	1.39	0.51	0.18	0.23	0.24	0.58
		Na	0.17	0.55	0.25	0.15	0.29	0.37
I	SATURACION BASES	Al	1.00	5.80	9.00	8.80	10.20	23.40
		Acc	48	39	26	23	25	22
A	(%)	SC	91	51	31	31	29	26
S	CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)					33		

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS		FECHA y HORA	Coord. UTM	CALICATA	
		Vanessa O. Llamoja Rios		17/08/2016 10:37 a.m	0476007 9028807	C-7	
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Ladera de colina	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 25-50	VEGETACION Purma baja	ALTITUD msnm 246	
0	MATERIAL PARENTAL Residual	PEDREG. SUPERF (%) -	F.GEO / LITO F. Chambira	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico	REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderadamente lenta	DRENAJE Bueno	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Ócrico	HORZ. SUBS. Argílico	CARAC. DIAG. Contacto paralítico	NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3		NAPA FREATI -					
SOIL TAXONOMY (2014) Francosa-fina, Esmectítica, Typic Hapludalfs		NOMBRE SUELO Quinilla	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL -	MUESTRAS 1,2,3,4	
C	PROFUNDIDAD (cm)	00-10	10-32	32-50	50-85	85+	
A	HORIZONTE Genético	A	Bwt	Bw	C	CPL	
R	COLOR (Munsell)	Hum 7.5 YR 3/2	10 YR 4/3	5 YR 5/6	5 YR 6/6		
A		Sec 7.5 YR 4/3	10 YR 4/4	5 YR 5/6	5 YR 5/8		
C	MOTEADO	Col					
T		%					
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	43-31-26	31-31-38	39-31-30	51-27-22		
R	CLASE TEXTURAL	Cmp					
F		Lab	Fr	FrAr	FrArA		
I	FRAGM. GRUESOS	Tipo			Grava fina 40		
S		%					
S	ESTRUCTURA	Gr m-l	Bs f-l	Bs m-l	M		
I	CONSISTENCIA	fr	fm	fm	fm		
C	RAICES	m-c	m-c	f-p	-		
A	LIMITE	G	G	G	A		
S	OTRAS CARACT.		Clay-skins				
C	pH	7.2	6.0	5.9	7.7		
A	CARBONATOS (%)	0.00	0.00	0.00	10.04		
R	C.E. (dS/m)						
A	PSI (%)						
C	MATER ORGANICA.(%)	3.52	1.79	0.62	0.28		
T	CARBONO ORGANICO (%)	2.04	1.04	0.36	0.16		
E	P (mg/kg suelo)	30.9	9.3	6.1	5.2		
R	K (mg/kg suelo)	234	173	135	105		
	CIC SUELO	SC					
Q	(cmol(+)/ kg suelo)	Acet	30.40	27.36	28.64	26.24	
U		Ca	25.40	25.00	24.50	30.20	
I	CACIONES	Mg	2.93	2.04	1.56	1.71	
I	CAMBIABLES	K	0.55	0.44	0.32	0.25	
M	(cmol(+)/ lg suelo)	Na	0.23	0.17	0.20	0.26	
I		Al	0.00	0.00	0.00	0.00	
c	SATURACION BASES	Ace	96	100	93	100	
A	(%)	SC	100	100	100	100	
S	CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)						

	DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS Vanessa O. Llamoja Rios		FECHA y HORA 16/08/2016 10:37 a.m	Coord. UTM 0473862 9027286	CALICATA C-8
2	LOCALIDAD IRAZOLA		PAISAJE Ladera de colina	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 15-25	VEGETACION Bosque	ALTITUD msnm 237
0	MATERIAL PARENTAL Residual	PEDREG. SUPERF (%) -	F.GEO / LITO E.Ipururo	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM.MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico	REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderada	DRENAJE Moderado	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Ócrico	HORZ. SUBS. Cámbico	CARAC. DIAG.	NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3			NAPA FREATI				
	SOIL TAXONOMY (2014) Francosa-fina, Mezclada, Dystric Eutrodepts		NOMBRE SUELO Silencio	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL -	MUESTRAS 1,2,3,4,5,6
C	PROFUNDIDAD (cm)	00-11	11-22	22-44	44-76	76-97	97-125
A	HORIZONTE Genético	A	Bw1	Bw2	C	Cc1	Cc2
R	COLOR (Munsell)	Hum 10 YR 4/3	10 YR 4/3	10 YR 5/4	10 YR 5/4	10 YR 7/1	10 YR 6/1
A		Sec 10 YR 5/3	10 YR 5/3	10 YR 6/4	10 YR 6/3	10 YR 8/1	10 YR 7/1
C	MOTEADO	Col			7.5 YR 5/8	7.5 YR 5/6	7.5 YR 5/6
T		%			20	30	30
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	53-31-16	47-25-28	49-23-28	51-19-30	37-25-38	35-31-34
R	CLASE TEXTURAL	Cmp					
F		Lab	FrA	FrArA	FrArA	FrAr	FrAr
I	FRAGM. GRUESOS	Tipo					
S		%					
S	ESTRUCTURA	Gr f-1	Bs m-1	Bs m-1	M	M	M
I	CONSISTENCIA	fr	fr	fm	fm	fm	fm
C	RAICES	m-c	m-c	m-p	f-p	f-p	mF-p
A	LIMITE	G	G	G	D	D	-
S	OTRAS CARACT.						Concreciones negras
C	pH	5.3	4.9	4.7	4.7	4.8	4.8
A	CARBONATOS (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R	C.E. (dS/m)						
A	PSI (%)						
C	MATER ORGANICA.(%)	2.76	1.31	0.69	0.21	0.21	0.07
T	CARBONO ORGANICO (%)	1.60	0.76	0.40	0.12	0.12	0.04
E	P (mg/kg suelo)	7.3	6.1	4.0	4.6	3.9	14.1
R	K (mg/kg suelo)	84	86	98	113	164	150
	CIC SUELO (cmol(+)/ kg suelo)	SC					
Q		Acet	12.32	13.60	18.08	18.88	32.80
U	CACIONES	Ca	12.30	11.20	11.90	10.70	19.90
I	CAMBIABLES	Mg	1.99	1.65	1.84	1.76	3.08
M		K	0.21	0.19	0.29	0.30	0.41
I		Na	0.19	0.21	0.35	0.22	0.36
S		Al	0.20	1.80	4.20	6.60	6.20
c	SATURACION BASES (%)	Acc	100	97	80	69	66
A		SC	99	88	77	66	79
S	CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)						

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS		FECHA y HORA	Coord. UTM	CALICATA
		Vanessa O. Llamaja Rios		16/08/2016 2:30 p.m	0473003 9027517	C-9
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Ladera de colina	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 50	VEGETACION Cacao	ALTITUD msnm 285
0	MATERIAL PARENTAL Residual	PEDREG. SUPERF (%)	F.GEO / LITO F.Ipururo	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderadamente rápida	DRENAJE Algo excesivo	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Ócrico	HORZ. SUBS. -	CARAC. DIAG. NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3	SOIL TAXONOMY (2014) Francosa-gruesa, Mezclada, Typic Udorthents	NOMBRE SUELO Monte Sinaf	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL -	MUESTRAS 1,2,3,4
C	PROFUNDIDAD (cm)	00-38	38-68	68-80	80-150	
A	HORIZONTE Genético	Ap	AC	C1	C2	
R	COLOR (Munsell)	Hum 10 YR 3/2	10 YR 3/3	10 YR 3/3	10 YR 4/6	
A		Sec 10 YR 4/2	10 YR 5/3	10 YR 5/4	10 YR 5/6	
C	MOTEADO	Col				
T		%				
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	79-13-08	85-07-08	79-09-12	89-05-06	
R	CLASE TEXTURAL	Cmp				
F		Lab AFr	AFr	FrA	A	
I	FRAGM. GRUESOS	Tipo				
S		%				
S	ESTRUCTURA	Gr f-1	Gr mf-1	M	G, S	
I	CONSISTENCIA	mfr	mfr	fr	s	
C	RAICES	g-c	m-p	m-p		
A	LIMITE	G	G	G	-	
S	OTRAS CARACT.					
C	pH	6.1	6.3	6.3	6.1	
A	CARBONATOS (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	
R	C.E. (dS/m)					
A	PSI (%)					
C	MATER ORGANICA.(%)	2.00	0.48	0.55	0.14	
T	CARBONO ORGANICO (%)	1.16	0.28	0.32	0.08	
E	P (mg/kg suelo)	30.5	54.3	34.1	74.3	
R	K (mg/kg suelo)	46	38	44	42	
Q	CIC SUELO (cmol(+)/ kg suelo)	SC				
U		Acet	10.72	7.68	11.20	7.84
I		Ca	11.70	10.40	11.30	9.12
M	CACIONES (cmol(+)/ kg suelo)	Mg	1.33	0.91	1.20	1.42
I		K	0.13	0.10	0.11	0.11
c		Na	0.18	0.11	0.09	0.09
A		Al	0.00	0.00	0.00	0.00
S	SATURACION BASES (%)	Ace	100	100	100	100
S	CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)	SC	100	100	100	100

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS		FECHA y HORA	Coord. UTM	CALICATA
		Vanessa O. Llamoja Rios		16/08/2016 4:15p.m	0474168 9025912	C-10
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Lomada	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 15-20	VEGETACION Bosque	ALTITUD msnm 203
0	MATERIAL PARENTAL Residual	PEDREG. SUPERF (%)	F.GEO / LITO F.Ipururo	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderadamente lenta	DRENAJE Bueno	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Ócrico	HORZ. SUBS. Argílico	CARAC. DIAG. Contacto paralítico NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3		NAPA FREATI -				
SOIL TAXONOMY (2014) Fina, Esmectítica, Typic Hapludalfs		NOMBRE SUELO Lupuna	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL -	MUESTRAS 1,2,3,4
C	PROFUNDIDAD (cm)	0-11	11-25	25-56	56-100	100+
A	HORIZONTE Genético	A	Btw1	Btw2	C	CPL
R	COLOR (Munsell)	Hum 10 YR 4/4	10 YR 4/4	10 YR 4/6	7.5 YR 4/6	
A		Sec 10 YR 5/4	10 YR 5/4	10 YR 6/4	7.5 YR 5/6	
C	MOTEADO	Col				
T		%				
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	37-35-28	29-37-34	29-33-38	31-27-42	
R	CLASE TEXTURAL	Cmp				
F		Lab FrAr	FrAr	FrAr	Ar	
I	FRAGM. GRUESOS	Tipo				
S		%				
S	ESTRUCTURA	Gr f-1	Bs f-1	Bs f-2	M	
I	CONSISTENCIA	mfr	fm	fm	fm	
C	RAICES	m-a	m-c	m-p		
A	LIMITE	G	G	G	A	
S	OTRAS CARACT.		clay-skins	clay-skins		
C	pH	5.9	5.4	5.3	5.7	
A	CARBONATOS (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	
R	C.E. (dS/m)					
A	PSI (%)					
C	MATER ORGANICA.(%)	3.72	1.86	1.17	0.69	
T	CARBONO ORGANICO (%)	2.16	1.08	0.68	0.40	
E	P (mg/kg suelo)	10.7	5.9	3.8	4.8	
R	K (mg/kg suelo)	219	81	115	111	
CIC SUELO		SC				
(cmol(+)/ kg suelo)	Acet	24.80	21.76	21.44	21.28	
Q		Ca	20.50	19.50	19.80	23.20
U	CACIONES	Mg	3.60	2.19	1.79	1.50
I	CAMBIABLES	K	0.55	0.20	0.28	0.26
M	(cmol(+)/ kg suelo)	Na	0.08	0.13	0.15	0.14
I		Al	0.00	0.40	0.40	0.00
c	SATURACION BASES	Acc	100	100	100	100
A	(%)	SC	100	98	98	100
S	CIC Arcilla (cmol(+)/ Kg arcilla)					

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS		FECHA y HORA	Coord. UTM	CALICATA	
		Vanessa O. Llamoja Rios		17/08/2016 3:30 p.m	0473950 9025401	C-11	
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Ladera de colina	MICRORELIEVE Ondulado	PENDIENTE (%) 15-25	VEGETACION Bosque	ALTITUD msnm 236	
0	MATERIAL PARENTAL Residual	PEDREG. SUPERF (%)	F.GEO / LITO F.Ipururo	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico	REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Lenta	DRENAJE Moderado	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Órico	HORZ. SUBS. Cámbico	CARAC. DIAG.	NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3	SOIL TAXONOMY (2014) Fina, Mezclada, Dystric Eutrudepts	NOMBRE SUELO Mojado	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL -	MUESTRAS 1,2,3,4	
C	PROFUNDIDAD (cm)	00-07	07-33	33-85	85-150		
A	HORIZONTE Genético	A	Bw	Bwt	C		
R	COLOR (Munsell)	Hum 7.5 YR 2.5/1	10 YR 5/3	7.5 YR 7/2	7.5 YR 6/1		
A		Sec 7.5 YR 3/2	10 YR 5/3	7.5 YR 7/2	7.5 YR 7/2		
C	MOTEADO	Col		7.5 YR 5/6	7.5 YR 5/8		
T		%		30	20		
E	AREN-LIM-ARCILLA	(%) 73-17-10	35-49-16	31-25-44	41-27-32		
R	CLASE TEXTURAL	Cmp					
F		Lab FrA	Fr	Ar	FrAr		
I	FRAGM. GRUESOS	Tipo					
S		%					
S	ESTRUCTURA	Gr f-1	Bs m-1	Bs f-1	M		
I	CONSISTENCIA	fr	fm	fm	fm		
C	RAICES	mf-a	f-p	-	-		
A	LIMITE	C	G	G	-		
S	OTRAS CARACT.						
C	pH	5.9	6.4	6.6	5.9		
A	CARBONATOS (%)	0.00	0.00	0.00	0.00		
R	C.E. (dS/m)						
A	PSI (%)						
C	MATER ORGANICA.(%)	6.62	1.45	0.14	0.55		
T	CARBONO ORGANICO (%)	3.84	0.84	0.08	0.32		
E	P (mg/kg suelo)	49.1	6.7	3.2	4.4		
R	K (mg/kg suelo)	217	77	86	77		
Q	CIC SUELO	SC					
U	(cmol(+)/ kg suelo)	Acet 26.88	22.40	23.52	18.08		
I	CACIONES	Cu 26.90	21.20	23.70	15.80		
M	CAMBIALES	Mg 2.17	1.91	3.00	1.74		
I	(cmol(+)/ kg suelo)	K 0.49	0.22	0.24	0.43		
e	SATURACION BASES	Na 0.11	0.18	0.25	0.18		
A	(%)	Al 0.00	0.00	0.00	0.00		
S	CIC Arcilla	Acc 100	100	100	100		
	(cmol(+)/ Kg arcilla)	SC 100	100	100	100		

DESCRIPCION DE PERFILES		PROYECTO DE TESIS		FECHA y HORA	Coord. UTM	CALICATA	
		Vanessa O. Llamoja Rios		18/08/2016 9:00 a.m	0475389 9025634	C-12	
2	LOCALIDAD IRAZOLA	PAISAJE Terraza baja	MICRORELIEVE Plano	PENDIENTE (%) 2-4	VEGETACION Pastos	ALTITUD msnm 201	
0	MATERIAL PARENTAL Aluvial	PEDREG. SUPERF (%) -	F.GEO / LITO Dep. Aluvial	PRECIP ANUAL (mm) 1964	TEM. MED. AN (°C) 25.97	REG. HUMED Údico	REG. TEMP Isohipertérmico
1	PERMEABILIDAD Moderadamente lenta	DRENAJE Moderado NAPA FREATI -	EROSION (tipo, grado) HL-ligera	EPIPEDON Ócrico	HORZ. SUBS. Cámbico	CARAC. DIAG.	NIVEL ESTUDIO Semidetallado
3	SOIL TAXONOMY (2014) Fina, Mezclada, Typic Dystrudepts		NOMBRE SUELO Brizantha	ZONA DE VIDA bh-T	USO MAYOR (2009) -	USO ACTUAL -	MUESTRAS 1,2,3
C	PROFUNDIDAD (cm)	00-13	13-40	40-150			
A	HORIZONTE Genético	Ap	Bw	C			
R	COLOR (Munsell)	Hum	5 YR 3/2	10 YR 5/4	10 YR 6/2		
A		Sec	5 YR 5/2	10 YR 7/3	10 YR 7/2		
C	MOTEADO	Col			2.5 YR 4/6		
T		%			30		
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	43-37-20	45-33-22	35-29-36			
R	CLASE TEXTURAL	Cmp					
F		Lab	Fr	Fr	FrAr		
I	FRAGM. GRUESOS	Tipo					
S		%					
S	ESTRUCTURA	Gr f-2	Bs f-1	M			
I	CONSISTENCIA	fr	fm	fm			
C	RAICES	f-c	f-p	-			
A	LIMITE	G	G	-			
S	OTRAS CARACT.						
C	pH	4.9	5.0	5.0			
A	CARBONATOS (%)	0.00	0.00	0.00			
R	C.E. (dS/m)						
A	PSI (%)						
C	MATER ORGANICA.(%)	3.52	0.69	0.28			
T	CARBONO ORGANICO (%)	2.04	0.40	0.16			
E	P (mg/kg suelo)	27.7	9.1	5.9			
R	K (mg/kg suelo)	149	33	112			
	CIC SUELO	SC					
	(cmol(+)/ kg suelo)	Acet	13.60	9.60	24.48		
Q		Ca	8.60	6.72	5.91		
U	CATIONES	Mg	1.91	0.89	0.71		
I	CAMBIABLES	K	0.40	0.09	0.28		
M	(cmol(+)/ kg suelo)	Na	0.10	0.19	0.98		
I		Al	0.20	2.20	15.80		
c	SATURACION BASES	Ace	81	82	32		
A	(%)	SC	98	78	33		
S	CIC Arcilla (cmol+)/ Kg arcilla)						

Anexo 4: Análisis de caracterización de suelos.

Prof cm	pH	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Text	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. de Bases (NH ₄ Ac)	% Sat. de Bases (SC)	% Acidez Cambiabile (AC)
						Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺					
C-1 Brachiaria (Francosa-fina, Esmectítica, Dystric Eutrudepts)																				
00-14	6.10	0.00	2.28	7.7	97	45	27	28	FrAr	20.00	15.90	2.35	0.19	0.17	0.20	18.81	18.61	93	99	1
14-50	5.90	0.00	1.38	11.7	111	41	29	30	FrAr	18.88	16.10	2.22	0.24	0.16	0.40	19.12	18.72	99	98	2
50-120	5.00	0.00	0.21	47.7	128	49	21	30	FrArA	23.68	14.80	2.40	0.26	0.27	2.80	20.53	17.73	75	86	14
120-140	4.90	0.00	0.69	6.3	104	39	29	32	FrAr	24.64	14.70	1.89	0.26	0.22	3.00	20.07	17.07	69	85	15
140-150	5.20	0.00	0.14	57.0	76	67	13	20	FrArA	18.24	13.60	1.65	0.18	0.22	1.20	16.85	15.65	86	93	7
C-2 Hormigas (Francosa-fina, Esmectítica, Humic Eutrudepts)																				
00-07	7.30	0.00	7.59	24.6	171	27	31	42	Ar	40.32	26.30	3.95	0.36	0.13	0.00	30.74	30.74	76	100	0
07-40	6.70	0.00	2.69	6.7	145	27	27	46	Ar	33.60	23.80	2.32	0.29	0.17	0.00	26.58	26.58	79	100	0
40-65	7.90	4.76	0.62	6.7	90	37	29	34	FrAr	29.28	29.40	1.53	0.16	0.17	0.00	31.26	31.26	100	100	0
C-3 Imprevisto (Francosa-fina, Esmectítica, Dystric Fluventic Eutrudepts)																				
00-10	6.00	0.00	2.28	33.7	84	71	13	16	FrA	14.17	12.00	1.47	0.17	0.13	0.40	14.17	13.77	99	97	3
10-55	5.50	0.00	1.38	17.4	66	61	19	20	FrArA	15.20	12.60	1.15	0.14	0.12	0.40	14.41	14.01	92	97	3
55-103	5.70	0.00	2.21	10.1	82	51	23	26	FrArA	19.68	16.00	1.02	0.19	0.15	0.40	17.76	17.36	88	98	2
103-150	5.80	0.00	0.07	33.7	63	73	13	14	FrA	12.00	11.50	0.91	0.15	0.17	0.40	13.13	12.73	100	97	3
C-4 Shapaja (Fina, Esmectítica, Typic Eutrudepts)																				
00-09	7.80	4.23	6.62	45.5	306	53	27	20	FrArA	19.20	26.50	1.58	0.75	0.14	0.00	28.97	28.97	100	100	0
09-20	6.10	0.00	3.24	5.9	333	43	23	34	FrAr	16.96	11.90	1.65	0.79	0.14	0.00	14.48	14.48	85	100	0
20-48	4.60	0.00	0.76	7.1	155	37	23	40	Ar	26.56	6.23	1.84	0.38	0.18	14.00	22.63	8.63	33	38	62
48-90	4.70	0.00	1.52	5.2	176	37	25	38	FrAr	27.68	5.78	1.73	0.26	0.21	16.20	24.18	7.98	29	33	67
90-150	4.70	0.00	0.07	4.2	137	27	23	50	Ar	29.28	6.91	2.22	0.31	0.43	12.20	22.07	9.87	43	45	55

Prof cm	pH	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico				CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. de Bases (NH ₄ Ac)	% Sat. de Bases (SC)	% Acidez Cambiabile (AC)
						Arena	Limo	Arcilla	Clase Text		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺					
						%	%	%			cmol(+) kg-1 de suelo									
C-5 Corte (Fina, Esmectítica, Fluventic Dystrudepts)																				
00-11	5.30	0.00	4.14	10.5	119	35	39	26	Fr	26.88	16.30	3.29	0.28	0.16	0.20	20.23	20.03	75	99	1
11-57	4.60	0.00	1.31	12.1	135	35	31	44	Ar	34.88	13.80	2.21	0.32	0.39	12.40	29.12	16.72	48	57	43
57-85	4.70	0.00	0.55	12.9	166	29	33	38	FrAr	38.40	11.50	1.32	0.40	1.05	16.00	30.27	14.27	37	47	53
85-150	5.00	0.00	1.38	39.2	204	21	33	46	Ar	36.64	16.40	1.86	0.33	1.73	9.20	29.52	20.32	55	69	31
C-6 Vaca (Fina, Esmectítica, Typic Paleudults)																				
0-11	4.90	0.00	6.76	24.0	538	57	23	20	FrArA	20.32	5.65	2.45	1.39	0.17	1.00	10.66	9.66	48	91	9
11-24	4.50	0.00	1.66	5.7	217	45	25	30	FrArA	15.20	3.51	1.37	0.51	0.55	5.80	11.74	5.94	39	51	49
24-55	4.40	0.00	0.62	3.6	93	37	23	40	Ar	15.52	2.70	0.92	0.18	0.25	9.00	13.05	4.05	26	31	69
55-70	4.50	0.00	0.69	3.0	107	27	25	48	Ar	16.48	2.39	1.04	0.23	0.25	8.80	12.71	3.91	23	31	69
70-110	4.50	0.00	0.48	3.2	109	25	31	44	Ar	16.96	2.48	1.20	0.24	0.29	10.20	14.41	4.21	25	29	71
110-150	4.40	0.00	0.28	4.2	219	27	31	42	Ar	37.60	2.58	4.58	0.58	0.37	23.40	31.51	8.11	22	26	74
C-7 Quinilla (Francosa-fina, Esmectítica, Typic Hapludalfs)																				
00-10	7.20	0.00	3.52	30.9	234	43	31	26	Fr	30.40	25.40	2.93	0.55	0.23	0.00	29.11	29.11	96	100	0
10-32	6.00	0.00	1.79	9.3	173	31	31	38	FrAr	27.36	25.00	2.04	0.44	0.17	0.00	27.65	27.65	100	100	0
32-50	5.90	0.00	0.62	6.1	135	39	31	30	FrAr	28.64	24.50	1.56	0.32	0.20	0.00	26.58	26.58	93	100	0
50-85	7.70	10.04	0.28	5.2	105	51	27	22	FrArA	26.24	30.20	1.71	0.25	0.26	0.00	32.42	32.42	100	100	0
C-8 Silencio (Francosa-fina, Mezclada, Dystric Eutrudepts)																				
00-11	5.30	0.00	2.76	7.3	84	53	31	16	FrA	12.32	12.30	1.99	0.21	0.19	0.20	14.89	14.69	100	99	1
11-22	4.90	0.00	1.31	6.1	86	47	25	28	FrArA	13.60	11.20	1.65	0.19	0.21	1.80	15.05	13.25	97	88	12
22-44	4.70	0.00	0.69	4.0	98	49	23	28	FrArA	18.08	11.90	1.84	0.29	0.35	4.20	18.58	14.38	80	77	23
44-76	4.70	0.00	0.21	4.6	113	51	19	30	FrArA	18.88	10.70	1.76	0.30	0.22	6.60	19.58	12.98	69	66	34
76-97	4.80	0.00	0.21	3.9	164	37	25	38	FrAr	35.84	19.90	3.08	0.41	0.36	6.20	29.95	23.75	66	79	21
97-125	4.80	0.00	0.07	14.1	150	35	31	34	FrAr	32.80	22.00	3.46	0.37	0.38	4.00	30.21	26.21	80	87	13
C-9 Monte Sinai (Francosa-gruesa, Mezclada, Typic Udorthents)																				

Prof cm	pH	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Text	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. de Bases (NH ₄ Ac)	% Sat. de Bases (SC)	% Acidez Cambiabile (AC)
						Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺					
						%	%	%			cmol(+) kg-1 de suelo									
00-38	6.10	0.00	2.00	30.5	46	79	13	8	AFr	10.72	11.70	1.33	0.13	0.18	0.00	13.34	13.34	100	100	0
38-68	6.30	0.00	0.48	54.3	38	85	7	8	AFr	7.68	10.40	0.91	0.10	0.11	0.00	11.52	11.52	100	100	0
68-80	6.30	0.00	0.55	34.1	44	79	9	12	FrA	11.20	11.30	1.20	0.11	0.09	0.00	12.70	12.70	100	100	0
80-150	6.10	0.00	0.14	74.3	42	89	5	6	A	7.84	9.12	1.42	0.11	0.09	0.00	10.74	10.74	100	100	0
C-10 Lupuna (Fina, Esmectítica, Typic Hapludalfs)																				
00-11	5.90	0.00	3.72	10.7	219	37	35	28	FrAr	24.80	20.50	3.60	0.55	0.08	0.00	24.73	24.73	100	100	0
11-25	5.40	0.00	1.86	5.9	81	29	37	34	FrAr	21.76	19.50	2.19	0.20	0.13	0.40	22.42	22.02	100	98	2
25-56	5.30	0.00	1.17	3.8	11	29	33	38	FrAr	21.44	19.80	1.79	0.28	0.15	0.40	22.42	22.02	100	98	2
56-100	5.70	0.00	0.69	4.8	111	31	27	42	Ar	21.28	23.20	1.50	0.26	0.14	0.00	25.10	25.10	100	100	0
C-11 Mojado Fina, Mezclada, Dystric Eutrudepts)																				
00-07	5.90	0.00	6.62	49.1	217	73	17	10	FrA	26.88	26.88	2.17	0.49	0.11	0.00	29.65	29.65	100	100	0
07-33	6.40	0.00	1.45	6.7	77	35	49	16	Fr	22.40	22.40	1.91	0.22	0.18	0.00	24.71	24.71	100	100	0
33-85	6.60	0.00	0.14	3.2	86	31	25	44	Ar	23.52	23.52	3.00	0.24	0.25	0.00	27.01	27.01	100	100	0
85-150	5.90	0.00	0.55	4.4	77	41	27	32	FrAr	18.08	18.08	1.74	0.43	0.18	0.00	20.43	20.43	100	100	0
C-12 Brizantha (Fina, Mezclada, Typic Dystrudepts)																				
00-13	4.90	0.00	3.52	27.7	149	43	37	20	Fr	13.60	8.60	1.91	0.40	0.10	0.20	11.21	11.01	81	98	2
13-40	5.00	0.00	0.69	9.1	33	45	33	22	Fr	9.60	6.72	0.89	0.09	0.19	2.20	10.09	7.89	82	78	22
40-150	5.00	0.00	0.28	5.9	112	35	29	36	FrAr	24.48	5.91	0.71	0.28	0.98	15.80	23.68	7.88	32	33	67

Anexo 5: Grupos texturales.

Símbolo	Grupo	Textura
G	GRUESA	Arena (A)
		Arena franca (AF)
MG	MODERADAMENTE GRUESA	Franco arenosa (FA)
		Franca (F)
M	MEDIA	Franca limosa (FL)
		Limo (L)
		Franco arcillosa (FAr)
MF	MODERADAMENTE FINA	Franco arcillo arenosa (FArA)
		Franco arcillo limosa (FArL)
		Arcillo arenosa (ArA)
F	FINA	Arcillo limosa (ArL)
		Arcilla (Ar)

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (MINAGRI, 2022)

Anexo 6: Reacción del suelo (pH).

Rangos	Clases
Menos de 3.5	Ultra ácido
3.6 - 4.5	Extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido
6.6 - 7.3	Neutra
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino
Más de 9.0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (MINAGRI, 2022)

Anexo 7: Parámetros que definen la fertilidad del suelo.

Nivel	Materia orgánica (%)	Fósforo disponible (ppm)	Potasio disponible (ppm)
Bajo	Menor de 2	Menor de 7	Menor de 100
Medio	2 - 4	7 - 14	100 - 240
Alto	Mayor de 4	Mayor de 14	Mayor de 240

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (MINAGRI, 2022)

Anexo 8: Calcáreo total.

CALCÁREO TOTAL	
NIVEL	%
Bajo	Menor de 1%
Medio	1 – 5
Alto	5 – 15
Muy alto	Mayor de 15

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria – La Molina.

Anexo 9: Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

RANGO (cmol.Kg⁻¹)	CLASES
Menor de 5	Muy baja
5 - 10	Baja
10 - 15	Media
15 - 22	Alta
más de 22	Muy alta

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria – La Molina.

Anexo 10: Salinidad.

RANGO (dS/m)	CLASES
0 - 2	No salino
2 - 4	Muy ligeramente salino
4 - 8	Ligeramente salino
8 - 16	Moderadamente salino
más de 16	Fuertemente salino

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria – La Molina.

Anexo 11: Clases de pendiente.

Símbolo	Pendiente larga (%)	Término Descriptivo
A	0 - 2	Plana a casi nivel
B	2 - 4	Ligeramente inclinada
C	4 - 8	Moderadamente inclinada
D	8 - 15	Fuertemente inclinada
E	15 - 25	Moderadamente empinada
F	25 - 50	Empinada
G	50 - 75	Muy empinada
H	> 75	Extremadamente empinada

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (MINAGRI, 2022)

Anexo 12: Microtopografía o microrelieve.

Clase	Descripción
Plano	Ausencia de elevaciones y depresiones
Ondulado suave	Ausencia de elevaciones y depresiones
Ondulado	Con elevaciones y depresiones de igual profundidad y ancho
Microquebrado o microaccidentado	Con elevaciones y depresiones más profundas que anchas

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (MINAGRI, 2022)

Anexo 13: Clases de profundidad efectiva.

Profundidad (cm)	Denominación
Menor de 25	Muy superficial
25 – 50	Superficial
50 – 100	Moderadamente profundo
100 – 150	Profundo
Más de 150	Muy profundo

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (MINAGRI, 2022)

Anexo 14: Permeabilidad.

Clase	Código
Impermeable	IM
Muy lenta	VL
Lenta	LE
Moderadamente lenta	ML
Moderadamente lenta	MO
Moderadamente rápida	MR
Rápida	RA
Muy rápida	VR

Fuente: Soil Survey Manual (USDA-1993)

Anexo 15: Drenaje.

Símbolo	Clases
A	Excesivo
B	Algo excesivo
C	Bueno
D	Moderado
E	Imperfecto
F	Pobre
G	Muy pobre

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (MINAGRI, 2022)

Anexo 16: Estructura.

Forma	Tipo	Código
Esferoidal	Granular	Gr
	Migajosa	Mig
Blocosa	Bloques angulares	Ba
	Bloques subangulares	Bs
Laminar	Laminar	L
Prismática	Prismático	Pr
	Columnar	C
Sin estructura	Grano simple	GS
	Masivo	MA

Fuente: Soil Survey Manual (USDA-2017)

Anexo 17: Erosión hídrica.

Grado de erosión	Descripción
Muy ligera	Se observa síntoma de erosión difusa que se caracteriza por una remoción y arrastre imperceptible de partículas de suelo.
Ligera	Se observa síntoma de erosión difusa que se caracteriza por una remoción y arrastre imperceptible de partículas de suelo.
Moderada	Se observa síntomas de erosión a través de la existencia de regular cantidad de surcos. Ausencia o escasez de cárcavas
Severa	Presencia abundante de surcos y cárcavas no corregibles por las labores de cultivo
Extrema	Suelos prácticamente destruidos o truncados. Presencia de muchas cárcavas que en conjunto conforman los “badlands” (mal país).

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (MINAGRI, 2022)

Anexo 18: Consistencia.

Suelo seco	Código	Suelo húmedo	Código	Suelo mojado	Código
Suelto	s	Suelto	s	No adhesivo	na
Suave	sv	Muy friable	mf	Ligeramente adhesivo	la
Ligeramente duro	ld	Friable	fr	Adhesivo	a
Duro	d	Firme	fm	Muy adhesivo	ma
Muy duro	md	Muy firme	mfm	No plástico	np
Extremadamente duro	ed	Extremadamente firme	efm	Ligeramente plástico	lp
				Plástico	p
				Muy plástico	mp

Fuente: Soil Survey Manual (USDA-2017)

Anexo 19: Datos climatológicos de la estación Maronal-Ucayali.

Datos climatológicos de la estación Maronal (1993-2014)			
Mes	Precipitación acumulada - Promedio mensual	Promedio mensual - T° Máx	Promedio mensual - T° Min
Enero	228.52	31.90	20.85
Febrero	264.73	31.44	20.78
Marzo	273.89	31.20	20.80
Abril	209.47	31.60	20.49
Mayo	136.20	31.24	19.74
Junio	85.69	31.09	19.22
Julio	63.00	31.24	18.75
Agosto	67.37	32.79	19.00
Setiembre	128.16	33.22	19.26
Octubre	161.48	32.96	20.30
Noviembre	224.50	32.40	20.41
Diciembre	207.52	31.99	20.62

Fuente: SENAMHI, 2022.

Anexo 20: Distribución del tamaño de partícula.

Prof. cm	Arena					Limo 0.05- 0.002 mm	Arcilla < 0.002 mm	Clase textural
	Muy gruesa 2.0-1.0 mm	Gruesa 1.0-0.5 mm	Media 0.5-0.25 mm	Fina 0.25-0.12 mm	Muy fina 0.12-0.05 mm			
C-1 Brachiaria								
00-14	0.08	0.78	7.58	23.22	45.28	26.56	28.16	Fr.Ar.
14-50	0.06	0.82	7.78	22.48	40.72	29.28	30.00	Fr.Ar.
50-120	0.02	0.14	2.84	25.34	48.72	21.28	30.00	Fr.Ar.A.
120-140	0.00	0.28	5.20	16.68	38.72	29.28	32.00	Fr.Ar.
140-150	0.00	0.04	3.22	49.06	66.72	13.28	20.00	Fr.Ar.A.
C-2 Hormigas								
00-07	0.26	0.62	1.22	4.40	27.28	30.56	42.16	Ar.
07-40	0.00	0.04	0.44	4.46	26.72	27.28	46.00	Ar.
40-65	0.62	1.18	1.44	3.48	36.72	29.28	34.00	Fr.Ar.
C-3 Imprevisto								
00-10	0.00	0.46	3.02	48.64	70.72	13.28	16.00	Fr.A.
10-55	0.00	0.04	2.28	38.68	60.72	19.28	20.00	Fr.Ar.A.
55-103	0.00	0.06	1.68	23.76	50.72	23.28	26.00	Fr.Ar.A.
103-150	0.00	0.18	7.24	57.10	72.72	13.28	14.00	Fr.A.
C-4 Shapaja								
00-09	0.16	0.92	7.38	23.64	52.72	27.28	20.00	Fr.Ar.A.
09-20	0.28	1.02	15.62	32.00	42.72	23.28	34.00	Fr.Ar.
20-48	0.00	0.20	1.06	4.50	36.72	23.28	40.00	Ar.
48-90	0.00	0.02	0.24	2.20	36.72	25.28	38.00	Fr.Ar.
90-150	0.00	0.08	0.66	6.26	26.72	23.28	50.00	Ar.
C-5 Corte								
00-11	0.26	1.42	2.60	5.96	34.72	39.28	26.00	Fr.
11-57	0.00	0.18	1.10	2.64	24.72	31.28	44.00	Ar.
57-85	0.00	0.88	2.40	4.06	28.72	33.28	38.00	Fr.Ar.
85-150	0.02	1.56	39.74	67.46	20.72	33.28	46.00	Ar.
C-6 Vaca								
00-11	0.46	1.28	4.54	17.68	56.72	23.28	20.00	Fr.Ar.A.
11-24	0.12	0.70	4.22	13.66	44.72	25.28	30.00	Fr.Ar.A.
24-55	0.10	0.64	3.42	12.24	36.72	23.28	40.00	Ar.
55-70	0.12	0.46	1.72	8.58	26.72	25.28	48.00	Ar.
70-110	0.02	0.30	1.46	9.02	25.28	30.56	44.16	Ar.
110-150	0.12	0.44	0.78	1.50	27.28	30.56	42.16	Ar.
C-7 Quinilla								
00-10	0.06	0.30	1.52	13.68	43.28	30.56	26.16	Fr.
10-32	0.06	0.14	1.48	12.86	31.28	30.56	38.16	Fr.Ar.
32-50	0.00	0.12	0.94	10.98	39.28	30.56	30.16	Fr.Ar.
50-85	1.70	2.78	3.64	8.72	51.28	26.56	22.16	Fr.Ar.A.

Prof. cm	Muy gruesa 2.0-1.0 mm	Gruesa 1.0-0.5 mm	Arena			Limo 0.05- 0.002 mm	Arcilla < 0.002 mm	Clase textural
			Media 0.5-0.25 mm	Fina 0.25-0.12 mm	Muy fina 0.12-0.05 mm			
C-8 Silencio								
00-11	0.60	2.20	11.98	33.32	53.28	30.56	16.16	Fr.A.
11-22	0.48	2.08	11.50	31.24	47.28	24.56	28.16	Fr.Ar.A.
22-44	0.30	1.94	11.00	36.02	49.28	22.56	28.16	Fr.Ar.A.
44-76	0.26	1.74	11.04	33.94	51.28	18.56	30.16	Fr.Ar.A.
76-97	0.08	0.56	4.00	14.36	37.28	24.56	38.16	Fr.Ar.
97-125	0.04	0.20	1.46	7.22	35.28	30.56	34.16	Fr.Ar.
C-9 Monte Sinaí								
00-38	0.00	0.90	26.74	59.84	79.28	12.56	8.16	A.Fr.
38-68	0.04	3.02	52.58	79.14	85.28	6.56	8.16	A.Fr.
68-80	0.10	1.68	38.38	72.42	79.28	8.56	12.16	Fr.A.
80-150	0.00	2.30	57.86	84.04	89.28	4.56	6.16	A.
C-10 Lupuna								
00-11	0.08	0.32	1.40	9.44	37.28	34.56	28.16	Fr.Ar.
11-25	0.08	0.16	0.82	7.68	29.28	36.56	34.16	Fr.Ar.
25-56	0.00	0.02	0.52	7.22	29.28	32.56	38.16	Fr.Ar.
56-100	0.04	0.10	0.52	6.88	31.28	26.56	42.16	Ar.
C-11 Mojado								
00-07	0.26	1.44	5.32	13.08	73.28	16.56	10.16	Fr.A.
07-33	0.16	0.88	4.42	13.42	35.28	48.56	16.16	Fr.
33-85	0.16	0.84	4.44	13.52	31.28	24.56	44.16	A.
85-150	0.04	0.92	6.88	20.84	41.28	26.56	32.16	Fr.Ar.
C-12 Brizantha								
00-13	0.04	0.24	1.38	23.26	43.28	36.56	20.16	Fr.
13-40	0.26	1.26	2.96	23.62	45.28	32.56	22.16	Fr.
40-150	0.02	0.10	0.46	7.70	35.28	28.56	36.16	Fr.Ar.

Anexo 21: Análisis de difractograma de las muestras.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ANÁLISIS DEL DIFRACTOGRAMA DE LAS MUESTRAS:

Los difractogramas correspondientes a las siete (07) muestras analizadas listadas en la Tabla 1, se observan en las Figuras 1 a 7. Con el fin de apreciar las diferencias entre las muestras analizadas, se presenta la comparación de todas las muestras incluidas en el servicio (Figura 8).

Al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-001" (véase la Figura 1) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 9). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-001	<i>Quartz</i> (SiO_2)	8.9
	<i>Kaolinite-1A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	6.8
	<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	26.9
	<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	1.7
	<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	47.2
	<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	8.5

De igual manera, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-002" (véase la Figura 2) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 10). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 3.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Tabla 3. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-002	<i>Quartz</i> (SiO ₂)	4.2
	<i>Anhydrite</i> (CaSO ₄)	0.1
	<i>Kaolinite-1A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	3.8
	<i>Halloysite-10A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	17.6
	<i>Vermiculite-2M</i> (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	0.7
	<i>Montmorillonite-15A</i> (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	63.6
	<i>Nacrite-2M2</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	10.0

Asimismo, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-003" (véase la Figura 3) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO₂), *Anhydrite* (CaSO₄), *Kaolinite-1A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄), *Halloysite-10A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄*2H₂O), *Vermiculite-2M* (Mg_x(Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂*4H₂O), *Montmorillonite-15A* (Na_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂*4H₂O) y *Nacrite-2M2* (Al₂Si₂O₅(OH)₄). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 11). Para estimar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-003	<i>Quartz</i> (SiO ₂)	16.3
	<i>Anhydrite</i> (CaSO ₄)	0.9
	<i>Kaolinite-1A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	7.2
	<i>Halloysite-10A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	20.5
	<i>Vermiculite-2M</i> (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	2.0
	<i>Montmorillonite-15A</i> (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	45.2
	<i>Nacrite-2M2</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	7.9

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Calle Germán Amezaga N° 375, Lima - Perú
Teléfono: 619-7000 anexo 3821



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

De la comparación del difractograma de la muestra codificada como “M2017-015-004” (véase la Figura 4) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 12). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-004	<i>Quartz</i> (SiO_2)	13.8
	<i>Anhydrite</i> (CaSO_4)	1.1
	<i>Kaolinite-1A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	6.0
	<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	22.6
	<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	2.5
	<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	46.7
	<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	7.3

Del mismo modo, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como “M2017-015-005” (véase la Figura 5) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 13). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 6.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Tabla 6. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-005	<i>Quartz</i> (SiO ₂)	6.4
	<i>Anhydrite</i> (CaSO ₄)	0.1
	<i>Kaolinite-1A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	5.7
	<i>Halloysite-10A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	20.3
	<i>Vermiculite-2M</i> (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	1.2
	<i>Montmorillonite-15A</i> (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	52.6
	<i>Nacrite-2M2</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	13.7

También, realizando la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-006" (véase la Figura 6) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO₂), *Anhydrite* (CaSO₄), *Kaolinite-1A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄), *Halloysite-10A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄*2H₂O), *Vermiculite-2M* (Mg_x(Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂*4H₂O), *Montmorillonite-15A* (Na_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂*4H₂O) y *Nacrite-2M2* (Al₂Si₂O₅(OH)₄). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 14). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-006	<i>Quartz</i> (SiO ₂)	10.8
	<i>Anhydrite</i> (CaSO ₄)	1.5
	<i>Kaolinite-1A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	10.8
	<i>Halloysite-10A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	9.4
	<i>Vermiculite-2M</i> (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	0.9
	<i>Montmorillonite-15A</i> (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	43.4
	<i>Nacrite-2M2</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	23.2

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Calle Germán Amezcua N° 375, Lima - Perú
Teléfono: 619-7000 anexo 3821



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Finalmente, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-007" (véase la Figura 7) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 15). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-007	<i>Quartz</i> (SiO_2)	4.3
	<i>Anhydrite</i> (CaSO_4)	0.4
	<i>Kaolinite-1A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	13.5
	<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	25.1
	<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	2.3
	<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	6.9
	<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	47.5



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Tabla 1 (continuación). Codificación de las muestras medidas y analizadas.

Código LDRX	Código solicitante
M2017-015-015	34
M2017-015-016	35-36
M2017-015-017	49
M2017-015-018	51
M2017-015-019	39
M2017-015-020	40-41
M2017-015-021	44-45
M2017-015-022	47
M2017-015-023	52

ANÁLISIS DEL DIFRACTOGRAMA DE LAS MUESTRAS:

Los difractogramas correspondientes a las dieciseis (16) muestras analizadas listadas en la Tabla 1, se observan en las Figuras 1 a 16. Con el fin de apreciar las diferencias entre las muestras analizadas, se presenta la comparación de todas las muestras incluidas en el servicio (Figura 17).

Al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como “M2017-015-008” (véase la Figura 1) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 18). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-008	<i>Quartz</i> (SiO_2)	3.1
	<i>Anhydrite</i> (CaSO_4)	0.5

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Calle Germán Amezcaga N° 375, Lima - Perú
Teléfono: 619-7000 anexo 3821



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

<i>Kaolinite-1A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	6.3
<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	4.6
<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	2.3
<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	75.0
<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	8.2

De igual manera, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-009" (véase la Figura 2) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 19). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-009	<i>Quartz</i> (SiO_2)	10.2
	<i>Anhydrite</i> (CaSO_4)	0.4
	<i>Kaolinite-1A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	13.0
	<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	4.6
	<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	3.4
	<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	60.9
	<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	7.5

Asimismo, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-010" (véase la Figura 3) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Calle Germán Amezaga N° 375, Lima - Perú
Teléfono: 619-7000 anexo 3821



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 20). Para estimar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-010	<i>Quartz</i> (SiO ₂)	6.7
	<i>Anhydrite</i> (CaSO ₄)	0.3
	<i>Kaolinite-1A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	2.9
	<i>Halloysite-10A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	4.3
	<i>Vermiculite-2M</i> (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	4.3
	<i>Montmorillonite-15A</i> (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	77.8
	<i>Nacrite-2M2</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	3.7

De la comparación del difractograma de la muestra codificada como “M2017-015-011” (véase la Figura 4) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO₂), *Anhydrite* (CaSO₄), *Kaolinite-1A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄), *Halloysite-10A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄*2H₂O), *Vermiculite-2M* (Mg_x(Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂*4H₂O), *Montmorillonite-15A* (Na_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂*4H₂O) y *Nacrite-2M2* (Al₂Si₂O₅(OH)₄). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 21). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-011	<i>Quartz</i> (SiO ₂)	2.3
	<i>Anhydrite</i> (CaSO ₄)	0.1
	<i>Kaolinite-1A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	3.3
	<i>Halloysite-10A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	18.3
	<i>Vermiculite-2M</i> (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	2.9
	<i>Montmorillonite-15A</i> (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	68.5

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Calle Germán Amezaga N° 375, Lima - Perú
Teléfono: 619-7000 anexo 3821



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Nacrite-2M2 ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)

4.6

Del mismo modo, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-012" (véase la Figura 5) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 22). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-012	<i>Quartz</i> (SiO_2)	19.7
	<i>Anhydrite</i> (CaSO_4)	1.2
	<i>Kaolinite-1A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	16.4
	<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	6.1
	<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	5.5
	<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	41.3
	<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	9.8

También, realizando la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-013" (véase la Figura 6) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 23). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-013	<i>Quartz</i> (SiO_2)	11.6

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Calle Germán Amezaga N° 375, Lima - Perú
Teléfono: 619-7000 anexo 3821



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

<i>Anhydrite</i> (CaSO ₄)	1.4
<i>Kaolinite-1A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	16.9
<i>Halloysite-10A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	8.8
<i>Vermiculite-2M</i> (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	0.8
<i>Montmorillonite-15A</i> (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	44.1
<i>Nacrite-2M2</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	16.4

Por otro lado, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-014" (véase la Figura 7) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO₂), *Kaolinite-1A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄), *Halloysite-10A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄*2H₂O), *Vermiculite-2M* (Mg_x(Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂*4H₂O), *Montmorillonite-15A* (Na_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂*4H₂O) y *Nacrite-2M2* (Al₂Si₂O₅(OH)₄). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 24). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-014	<i>Quartz</i> (SiO ₂)	2.9
	<i>Kaolinite-1A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	5.2
	<i>Halloysite-10A</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	11.4
	<i>Vermiculite-2M</i> (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	2.4
	<i>Montmorillonite-15A</i> (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	66.0
	<i>Nacrite-2M2</i> (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	12.1

Asimismo, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-015" (véase la Figura 8) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO₂), *Anhydrite* (CaSO₄), *Kaolinite-1A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄), *Halloysite-10A* (Al₂Si₂O₅(OH)₄*2H₂O), *Vermiculite-2M* (Mg_x(Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂*4H₂O), *Montmorillonite-15A* (Na_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂*4H₂O), *Nacrite-2M2* (Al₂Si₂O₅(OH)₄) y *Gypsum* (CaSO₄*2H₂O). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498, 016-0606 y 033-0311 respectivamente (véase la Figura 25). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Calle Germán Amezaga N° 375, Lima - Perú
Teléfono: 619-7000 anexo 3821



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 9.

Tabla 9. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-015	Quartz (SiO ₂)	4.3
	Anhydrite (CaSO ₄)	0.2
	Kaolinite-1A (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	8.2
	Halloysite-10A (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	13.1
	Vermiculite-2M (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	2.2
	Montmorillonite-15A (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	59.5
	Nacrite-2M2 (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	11.0
	Gypsum (CaSO ₄ *2H ₂ O)	1.5

Del mismo modo, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-016" (véase la Figura 9) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases Quartz (SiO₂), Anhydrite (CaSO₄), Kaolinite-1A (Al₂Si₂O₅(OH)₄), Halloysite-10A (Al₂Si₂O₅(OH)₄*2H₂O), Vermiculite-2M (Mg_x(Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂*4H₂O), Montmorillonite-15A (Na_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂*4H₂O) y Nacrite-2M2 (Al₂Si₂O₅(OH)₄). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 26). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-016	Quartz (SiO ₂)	1.6
	Anhydrite (CaSO ₄)	0.1
	Kaolinite-1A (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	3.0
	Halloysite-10A (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	67.7
	Vermiculite-2M (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	0.6
	Montmorillonite-15A (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	20.6

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Calle Germán Amezaga N° 375, Lima - Perú
Teléfono: 619-7000 anexo 3821



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Nacrite-2M2 ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)

6.4

Al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como “M2017-015-017” (véase la Figura 10) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Kaolinite-1A* ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), *Halloysite-10A* ($Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$), *Vermiculite-2M* ($Mg_x(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$), *Montmorillonite-15A* ($Na_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$) y *Nacrite-2M2* ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 27). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 11.

Tabla 11. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-017	<i>Quartz</i> (SiO_2)	0.8
	<i>Kaolinite-1A</i> ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)	4.5
	<i>Halloysite-10A</i> ($Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$)	47.1
	<i>Vermiculite-2M</i> ($Mg_x(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$)	13.2
	<i>Montmorillonite-15A</i> ($Na_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$)	21.6
	<i>Nacrite-2M2</i> ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)	12.8

También, realizando la comparación del difractograma de la muestra codificada como “M2017-015-018” (véase la Figura 11) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Kaolinite-1A* ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), *Halloysite-10A* ($Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$), *Vermiculite-2M* ($Mg_x(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$), *Montmorillonite-15A* ($Na_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$) y *Nacrite-2M2* ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 28). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 12.

Tabla 12. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-018	<i>Quartz</i> (SiO_2)	0.8
	<i>Kaolinite-1A</i> ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)	8.4

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Calle Germán Amezaga N° 375, Lima - Perú
Teléfono: 619-7000 anexo 3821



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	51.1
<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	8.6
<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	24.0
<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	7.1

Por otro lado, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-019" (véase la Figura 12) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 29). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 13.

Tabla 13. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
	<i>Quartz</i> (SiO_2)	5.3
	<i>Kaolinite-1A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	26.3
	<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	6.6
M2017-015-019	<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	11.5
	<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	19.0
	<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	31.3

Del mismo modo, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-020" (véase la Figura 13) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 30). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 14.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Tabla 14. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-020	Quartz (SiO ₂)	4.2
	Anhydrite (CaSO ₄)	1.2
	Kaolinite-1A (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	17.2
	Halloysite-10A (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	6.2
	Vermiculite-2M (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	25.8
	Montmorillonite-15A (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	24.6
	Nacrite-2M2 (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	20.8

Al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como “M2017-015-021” (véase la Figura 14) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases Quartz (SiO₂), Anhydrite (CaSO₄), Kaolinite-1A (Al₂Si₂O₅(OH)₄), Halloysite-10A (Al₂Si₂O₅(OH)₄*2H₂O), Vermiculite-2M (Mg_x(Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂*4H₂O), Montmorillonite-15A (Na_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂*4H₂O) y Nacrite-2M2 (Al₂Si₂O₅(OH)₄). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 31). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 15.

Tabla 15. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-021	Quartz (SiO ₂)	4.2
	Anhydrite (CaSO ₄)	0.7
	Kaolinite-1A (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	14.0
	Halloysite-10A (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ *2H ₂ O)	9.9
	Vermiculite-2M (Mg _x (Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	28.2
	Montmorillonite-15A (Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *4H ₂ O)	31.3
	Nacrite-2M2 (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	11.7

Asimismo, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como “M2017-015-022” (véase la Figura 15) con los difractogramas de la base de datos ICDD-



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 32). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 16.

Tabla 16. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-022	<i>Quartz</i> (SiO_2)	5.2
	<i>Anhydrite</i> (CaSO_4)	1.7
	<i>Kaolinite-1A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	13.7
	<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	9.4
	<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	28.8
	<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	26.2
	<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	15.0

Finalmente, al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-015-023" (véase la Figura 16) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Anhydrite* (CaSO_4), *Kaolinite-1A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), *Halloysite-10A* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Vermiculite-2M* ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *Montmorillonite-15A* ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y *Nacrite-2M2* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 046-1045, 037-1496, 014-0164, 029-1489, 016-0613, 029-1498 y 016-0606 respectivamente (véase la Figura 33). Asimismo, para estimar el porcentaje en peso (%W) de la principal fase identificada, se utilizó el método de refinamiento Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 17.

Tabla 17. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-015-023	<i>Quartz</i> (SiO_2)	2.6
	<i>Anhydrite</i> (CaSO_4)	0.2



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

<i>Kaolinite-1A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	7.1
<i>Halloysite-10A</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	40.2
<i>Vermiculite-2M</i> ($\text{Mg}_x(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	17.5
<i>Montmorillonite-15A</i> ($\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	23.8
<i>Nacrite-2M2</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	8.6
