

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN SUELOS**



**“IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE HORIZONTES  
DIAGNÓSTICO EN SUELOS DE SEDIMENTOS ARENOSOS DE  
ZUNGAROCOCHA-IQUITOS-PERU”**

**Presentada por:**

**RANULFO SEGUNDO MELENDEZ CELIS**

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

**Lima-Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN SUELOS**

**“IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE HORIZONTES  
DIAGNÓSTICO EN SUELOS DE SEDIMENTOS ARENOSOS DE  
ZUNGAROCOCHA-IQUITOS-PERU”**

**Presentada por:**

**RANULFO SEGUNDO MELENDEZ CELIS**

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

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Mg.Sc. Jorge Díaz Rimarachín

**PRESIDENTE**

Mg.Sc. Julio NazarioRíos

**PATROCINADOR**

Mg. Sc. Manuel Valencia Ramos

**CO-PATROCINADOR**

Mg. Sc. Rubén Bazán Tapia

**MIEMBRO**

Mg. Sc. Juan Guerrero Barrantes

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis queridas hijas NADIA CAMILA y NICOLE LUANA Meléndez Huerta, por ser las que me motivaron a brindarles el ejemplo de superación que debemos tener en nuestras vidas.

A mi esposa, VICTORIA Huerta Bardales por su comprensión y ser un soporte y compañía en el tiempo de ausencia del seno familiar.

A la memoria de mis padres RANULFO Meléndez y ELENA Celis, quienes forjaron mi educación y la formación de valores que permitieron desarrollar mi profesión.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

A mis hermanos GLORIA, SONIA, ROSA ELENA, FERNANDO Y JORGE ENRIQUE Meléndez Celis por el apoyo brindado durante mis estudios de Maestría.

Al Mg. Sc. MANUEL Valencia Ramos co-patrocinador de la presente tesis, por su valiosa orientación en el desarrollo de mi tesis. Al Mg. Sc. RUBEN Bazán Tapia, por su desinteresado apoyo para el análisis en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

A todos los docentes de la Maestría en Suelos de la UNALM, por mi formación académica y especialización en estos años.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>I. INTRODUCCION</b>	1
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b>	3
2.1. Geología de la zona de Iquitos	3
2.1.1. Descripción de la Geología en la Zona de Estudio	3
2.2. Climatología de la zona de Iquitos	5
2.2.1. Promedios climáticos	5
2.2.2. Precipitación	6
2.3. clasificación del suelo	6
2.3.1. Pedon del suelo	6
2.3.2. Horizonte del Suelo	6
2.3.3. Identificación de los Horizontes del Suelo	7
2.3.4. Horizontes de Diagnóstico	7
2.3.5. Epipedones	8
2.3.6. Horizontes Subsuperficiales:	9
2.3.7. Procesos Específicos de Translocaciones	11
2.3.8. Procesos Específicos Complejos: Podsolización	11
2.3.9. Suelos de Arenas Blancas Fuertemente Lixiviadas	12
2.4. Materia orgánica del suelo	13
2.4.1. Funciones de la materia orgánica del suelo y calidad del suelo	13
2.4.2. Distribución de la materia orgánica en el interior del suelo	14
2.5. Propiedades físicas del suelo	15
2.5.1. Textura del suelo	15
2.6. Mineralogía del suelo	17
2.6.1. Los silicatos	18
2.7. Reacción del suelo	20
2.7.1. El PH	20

2.7.2. Mediciones del pH del suelo	20
<b>III. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>21</b>
3.1. Ubicación del proyecto	21
3.2. Descripción de perfiles y muestreo de horizonte diagnóstico	22
3.3. Análisis químico mineralógico	23
3.3.1. Determinación de la materia orgánica del suelo	23
3.3.2. Determinación de la textura del suelo	24
3.3.3. Análisis de tamaño de partículas	25
3.3.4. Determinación del pH del suelo	25
3.3.5. Determinación de óxidos de hierro	26
3.3.6. Análisis mineralógico	27
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>28</b>
4.1. Caracterización Físico-Química de los Horizontes de Diagnóstico	28
4.2. Identificación de los horizontes de diagnóstico	29
4.2.1. Contenido de Materia Orgánica de los horizontes de diagnóstico	29
4.2.2. Contenido de Óxidos de Hierro del Suelo	32
4.2.3. Análisis del tamaño de arenas	34
4.2.4. Mineralogía de los horizontes	39
4.3. Clasificación taxonómica del suelo	41
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>56</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>57</b>
<b>VIII. ANEXOS</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Promedios climatológicos en Iquitos.	5
Cuadro 2: Definición de los separados del suelo	15
Cuadro 3: Características físicas y químicas del suelo 01	28
Cuadro 4: Características físicas y químicas del suelo 02	28
Cuadro 5: Características físicas y químicas del suelo 03	28
Cuadro 6: Características físicas y químicas del suelo 04	28
Cuadro 7: Mineralogía de horizontes Eluviales	39
Cuadro 8: Mineralogía de horizontes Iluviales	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Unidad Geológica Arenitas de Iquitos	3
Figura 2: Perfil-Sección Estratigráfica Generalizada de la Unidad Las Arenitas de Iquitos, con base en los afloramientos a lo largo de la carretera Iquitos-Nauta, entre los Km. 0-33	4
Figura 3: Perfiles de Suelos Arenosos	12
Figura 4: Sistema De Clasificación De Partículas	17
Figura 5: Mapa De Ubicación Del Área De Estudio	21
Figura 6: Distribución de la Materia Orgánica en el Perfil del Suelo 01	29
Figura 7: Distribución de la Materia Orgánica en el Perfil del Suelo 02	30
Figura 8: Distribución de la Materia Orgánica en el Perfil del Suelo 03	30
Figura 9: Distribución de la Materia Orgánica en el Perfil del Suelo 04	31
Figura 10: Distribución de óxidos de fierro libres en los horizontes del Suelo 01	32
Figura 11: Distribución de óxidos de fierro libres en los horizontes del Suelo 02	32
Figura 12: Distribución de óxidos de fierro libres en los horizontes del suelo 03	33
Figura 13: Distribución de óxidos de fierro libres en los horizontes del Suelo 04	33
Figura 14: Granulometría del horizonte Eluvial del Suelo 01	34
Figura 15: Granulometría del horizonte Iluvial del Suelo 01	35
Figura 16: Análisis granulométrico del horizonte Eluvial del Suelo 02	35
Figura 17: Análisis granulométrico del horizonte Iluvial del Suelo 02	36
Figura 18: Análisis granulométrico del horizonte Eluvial del Suelo 03	36
Figura 19: Análisis granulométrico del horizonte Iluvial del Suelo 03	37
Figura 20: Análisis granulométrico del horizonte Eluvial del Suelo 04	37
Figura 21: Análisis granulométrico del horizonte Iluvial del suelo 04	38
Figura 22: Distribución mineralógica en los horizontes Eluviales del Suelo	39
Figura 23: Distribución mineralógica en los horizontes Iluviales del Suelo	40



## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Difractograma del horizonte Iluvial del Suelo 01	60
Anexo 2: Difractograma del horizonte Eluvial del Suelo 01	60
Anexo 3: Difractograma del horizonte Iluvial del Suelo 02	61
Anexo 4: Difractograma del horizonte Eluvial del Suelo 02	61
Anexo 5: Difractograma del horizonte Iluvial del Suelo 03	62
Anexo 6: Difractograma del horizonte Eluvial del Suelo 03	62
Anexo 7: Difractograma del horizonte Iluvial del Suelo 04	63
Anexo 8: Difractograma del horizonte Eluvial del Suelo 04	63
Anexo 9: Picos de difracción del horizonte Eluvial del Suelo 01	64
Anexo 10: Picos de difracción del horizonte Eluvial del Suelo 02	64
Anexo 11: Picos de difracción del horizonte Eluvial del Suelo 03	65
Anexo 12: Picos de difracción del horizonte Eluvial del Suelo 04	65
Anexo 13: Picos de difracción del horizonte Iluvial del Suelo 01	66
Anexo 14: Picos de difracción del horizonte Iluvial del Suelo 02	66
Anexo 15: Picos de difracción del horizonte Iluvial del Suelo 03	67
Anexo 16: Picos de difracción del horizonte Iluvial del Suelo 04	67
Anexo 17: Caracterización Físico-Química del Suelo 01	68
Anexo 18: Caracterización Físico-Química del Suelo 02	69
Anexo 19: Caracterización Físico-Química del Suelo 03	70
Anexo 20: Caracterización Físico-Química del Suelo 04	71
Anexo 21: Cartilla de Información del Suelo 01	72
Anexo 22: Cartilla de Información del Suelo 02	73
Anexo 23: Cartilla de Información del Suelo 03	74
Anexo 24: Cartilla de Información del Suelo 04	75

## RESUMEN

Áreas constituidas por sedimentos arenosos, cerca de Iquitos, han sido estudiados ampliamente, estos materiales geológicos, originaron suelos diferentes taxonómicamente, dependiendo de las condiciones biofísicas en las cuales se desarrollaron. Cuatro suelos de la zona de Zungarococha, ubicada al sur oeste de la ciudad de Iquitos fueron estudiados. El presente trabajo, se basó en la identificación y caracterización de los horizontes de diagnóstico de los suelos indicados, con la finalidad de explicar su naturaleza y propiedades. La descripción de los suelos fueron realizados siguiendo los lineamientos del Soil Survey Manual (1993). Asimismo, la mineralogía fue determinada usando la técnica de Difractometría de Rayos X. Los resultados encontrados, nos muestran la existencia de suelos con perfiles profundos y presencia de horizontes de diagnóstico álbicos sobreyaciendo a los horizontes de diagnóstico espódicos. Los horizontes espódicos presentan una acumulación de materia orgánica y fierro, mientras que en los horizontes álbicos los contenidos de materia orgánica se encuentran por debajo de los que presentan los horizontes espódicos, éstas característica encontradas, indican que el proceso dominante en estos suelos, fue la podsolización, el cual permitió clasificarlos en el orden Spodosols (Soil Taxonomy, 2014). Mineralógicamente los horizontes de diagnóstico álbico y espódico presentaron como mineral dominante al cuarzo, el cual se relaciona con la génesis de Spodosols desarrollados en los trópicos húmedos. En conclusión, los horizontes de diagnóstico de los suelos caracterizados e identificados, reúnen algunas de las condiciones físicas y químicas que nos permiten conocer la variabilidad edáfica y poseer elementos de juicio para sostener la naturaleza y propiedades de los spodosols desarrollados en condiciones del trópico húmedo peruano.

**Palabras Clave:** sedimentos arenosos, horizonte álbico, horizonte espódico, podsolización.

## **ABSTRACT**

Areas constituted by sandy sediments, near Iquitos, have been studied extensively, these geological materials, originated different soils taxonomically, depending on the biophysical conditions in which they were developed. Four soils of the zone of Zungarococha, located to the south west of the city of Iquitos were studied. The present work was based on the identification and characterization of the diagnostic horizons of the indicated soils, in order to explain their nature and properties. The descriptions of the soils were carried out following the guidelines of the Soil Survey Manual (1993). Also, the mineralogy was determined using the technique of X-Ray Diffractometry. The results found, show the existence of soils with deep profiles and presence of albic diagnostic horizons overlapping the spodic diagnostic horizons. The spodic horizons present an accumulation of organic matter and iron, whereas in the albic horizons the organic matter contents are below those that present the spodic horizons, these characteristic found, indicate that the dominant process in these soils, was the Podsolization, which allowed them to be classified in the order Spodosols (Soil Taxonomy, 2014). Mineralogically the horizons of albic and spodic diagnosis presented quartz as the dominant mineral, and within them cristobalite and silicon oxides, which are related to the genesis of Spodosols developed in the humid tropics rich in quartz. In conclusion, the diagnostic horizons of the soils characterized and identified, meet some of the physical and chemical conditions that allow us to know the soil variability and to have elements of judgment to support the nature and properties of the spodosols developed under conditions of the Peruvian humid tropic.

Key words: sandy sediments, albic horizon, spodic horizon, podsolization.

## **I. INTRODUCCION**

Durante el desarrollo de un suelo ocurren una serie de procesos que van imprimiendo sus características y propiedades para definirlo, a estos se denominan procesos pedogenéticos, los cuales son controlados por los factores de formación del suelo (Porta et al., 2003).

El pedón de un suelo está definido por horizontes diagnósticos denominados epipedones y horizontes subsuperficiales. Los epipedones son aquellos horizontes que se desarrollan en la superficie del suelo, mientras que los horizontes subsuperficiales se han formado en el interior del suelo y que no necesariamente coinciden con el horizonte B (Buol et al., 2003).

Los horizontes subsuperficiales se han agrupado dependiendo del proceso pedogenético que ha dominado en su desarrollo; así existen el argílico, cálcico, sómblico, nátrico, espódico, entre otros.

Kauffman et al. (1998) describen para la zona de Iquitos, un grupo de suelos, denominados arenas blancas fuertemente lixiviadas, las cuales se encuentran ubicadas en el área triangular al sur de la ciudad de Iquitos. Este grupo de suelos se presenta como una serie de pequeñas áreas aisladas, con menos frecuencia y en forma más aislada, hacia el Sur Oeste. Sin embargo, se necesitan observaciones de campo adicionales para confirmar este patrón de distribución así como también la posible asociación de estas áreas con una tabla de agua elevada.

Zungarococha, ubicado al sur oeste de la ciudad de Iquitos, es un área natural que alberga diferentes ecosistemas. En esta localidad existen aproximadamente 150 ha de suelos de arenas blancas. Este grupo de suelos generalmente se presenta en topografía plana o ligeramente ondulada.

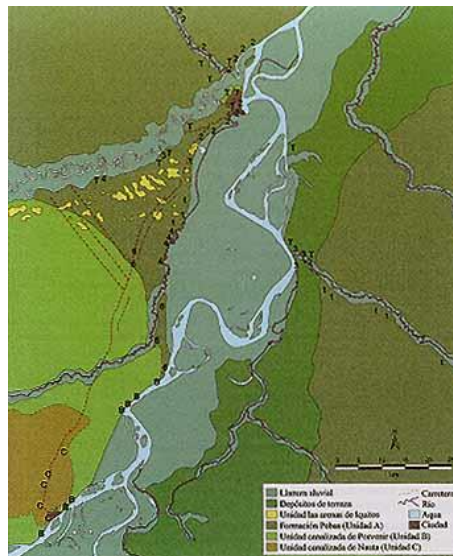
El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo, la identificación y caracterización de horizontes diagnóstico en suelos de sedimentos arenosos de Zungarococha, Iquitos-Perú, con la finalidad de establecer la génesis de estos suelos a través de la naturaleza de los horizontes diagnóstico identificados y explicar las causas de la heterogeneidad del hábitat, de gran importancia ecológica, bajo el cual se ha desarrollado este tipo de suelo.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Geología de la zona de Iquitos

#### 2.1.1. Descripción de la Geología en la Zona de Estudio

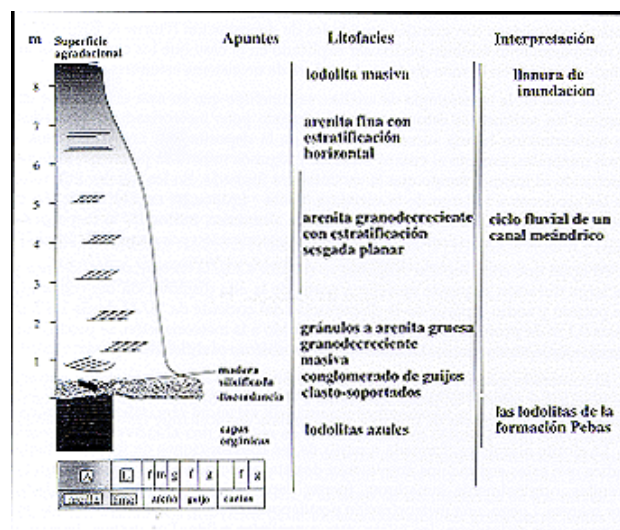
Räsänen et al. (1998) indican que en el área de Iquitos se ha diferenciado la unidad geológica de Arenitas de Iquitos, caracterizada litológicamente por arenitas cuarzosas blanquecinas y extendidas al SO de la ciudad, (fig. 1)



**Figura 1: Unidad geológica arenitas de Iquitos**

**(Fuente: Räsänen et al. 1998)**

Las arenitas cuarzosas blanquecinas se encuentran en toda el área de Iquitos, en las mayores elevaciones del área (140 m.s.n.m.). Estas arenitas están expuestas en varias localidades a lo largo de la carretera Iquitos - Nauta.



**Figura 2: Perfil - Sección estratigráfica generalizada de la unidad las arenitas de Iquitos, con base en los afloramientos a lo largo de la carretera Iquitos - Nauta, entre los km. 0-33. (Fuente: Räsänen et al. 1998)**

En el afloramiento, cerca de "13 de Febrero", la Unidad arenitas de Iquitos se inicia con una litofacies de conglomerados de guijarros finos a medios clastosoportados, que sobreyace discordantemente a un depósito de lodolitas azules interpretadas como pertenecientes a la Formación Pebas. Esta litofacies de conglomerados de guijarros finos a medios clastosoportados, tiene de 10 a 20 cm de grosor y contiene gravas de cuarzo bien redondeadas. También se pueden encontrar fracciones de madera petrificada de 10 a 20 cm de longitud, (fig. 2)

Los conglomerados de guijarros finos a medios clastosoportados gradan a una litofacies granodecreciente masiva de gránulos a arenita de grano grueso que puede tener 1 a 2 m de grosor. En algunos casos, esta facies puede presentar estratificación sesgada planar. La estratificación sesgada parece ser opacada por la naturaleza monomineral de las arenitas, consistiendo casi enteramente de granos de cuarzo blanquecino.

La litofacies de arenita de grano fino horizontalmente estratificada, de 0,5-1 m de grosor, sobreyace concordantemente a las arenitas con estratificación sesgada, y pasa gradualmente a una litofacies de lodolita masiva que conforma los 1-2 m superiores de las secciones estudiadas. En el afloramiento del km. 24,02 a lo largo de la carretera Iquitos - Nauta, están

presentes la caolinita junto con la gibsita y anatasa ( $TiO_2$ ), en muestras a 1-1,5 m bajo el límite superior de la sección. La fracción de arcilla de la muestra superior (0,5 m bajo el límite superior) está conformada por sílice amorfa y algo de cuarzo. Los análisis de Difractometría de Rayos X, fueron llevados a cabo solamente en la muestra inferior (1,5 m bajo el límite superior). Debido a los altos contenidos de gibsita y a la presencia de caolinita, el cociente de Si/Al (0,6) es muy bajo. Los contenidos de K, Mg y Ca están por debajo del límite de detección. El contenido de Ti es de 20,00 mg  $Kg^{-1}$  en la anatasa.

## 2.2. Climatología de la zona de Iquitos

### 2.2.1. Promedios Climáticos

La ciudad de Iquitos se ubica en la Amazonía peruana, a orillas del río Amazonas. Climáticamente esta región se caracteriza por un tipo Ar tropical húmedo todo el año sin meses secos. El régimen de precipitación muestra niveles mayores a 1500 mm/ año, distribuidas de tal forma que no hay un período seco extenso y casi ningún mes con precipitación menor de 50 mm. Las características generales de los elementos del clima en Iquitos aparecen en la Tabla 1. La humedad relativa es casi constante a lo largo del año. Marengo (1998)

**Tabla 1: Promedios climatológicos en Iquitos. (Fuente: Marengo, 1998)**

.	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun.	Jul.	Aug.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Med.
Temperatura Promedia (°C)	27	27	27	26	26	26	25	26	26	26	27	26	26
Temperatura Máxima (°C)	31	30	30	30	30	29	29	30	31	31	31	31	30
Temperatura Mínima (°C)	22	22	22	22	22	22	21	22	22	22	22	22	22
Precipitación (mm)	254	245	350	330	200	180	218	220	250	270	320	250	3087
Viento (m s <sup>-1</sup> )	4,4	4,4	3,9	3,3	3,9	3,9	3,9	3,9	4,9	4,9	3,9	4,9	4,4
Humedad relativa max. (%)	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	95	95	95
Humedad relativa min.(%)	73	73	73	75	75	73	73	72	72	73	74	75	74



### **2.2.2. Precipitación**

La región de Iquitos se ubica al sudoeste del primer máximo de lluvia en la Amazonía, con totales anuales entre 2400-3100 mm, y con el trimestre más lluvioso entre febrero-abril. La estación con menos lluvias ocurre entre junio-agosto. Sobre las características de la estación lluviosa en Iquitos y la Amazonía peruana, Kousky (1988) identificó que en promedio el inicio de la misma se presenta a mediados de agosto, y el final a mediados de junio, con un máximo en marzo-abril. La Tabla 1, muestra los valores mensuales y anuales de precipitación en Iquitos.

## **2.3. Clasificación del suelo**

### **2.3.1. Pedón del Suelo**

Un pedón constituye el área o unidad más pequeña que se debe describir y muestrear en un suelo, a fin de que pueda considerarse representativa de la naturaleza y ordenamiento de sus horizontes y de la variedad de la demás propiedades susceptibles de ser estudiadas. Tiene tres dimensiones: profundidad (que está dada por el límite entre lo que se considera suelo y el material subyacente que se considera “no suelo”) y de dimensiones laterales, ancho y largo, (suficientemente grandes como para que lo hagan representativo de la naturaleza de cualquier tipo de horizonte que posea y de su respectiva variabilidad). El área del pedón varía entre 1 y 10 m<sup>2</sup> dependiendo de la variabilidad del suelo (**Brady, 2007**).

### **2.3.2. Horizonte del Suelo**

Un horizonte de suelo es una capa aproximadamente paralela a la superficie del suelo. Tiene un conjunto de propiedades que fueron producidas por procesos pedogenéticos, y alguna/s propiedad/es que lo diferencian de las capas supra y subyacentes.

Un horizonte de suelo comúnmente se distingue de los horizontes adyacentes por características que pueden ser observadas o medidas en el campo, por ejemplo, color, estructura, textura, consistencia y la presencia o ausencia de carbonatos.

Sin embargo, para identificar un horizonte se puede requerir de análisis de laboratorio, completando de este modo la información de campo. De acuerdo a los criterios que utilizan

los edafólogos, los horizontes se identifican a través de su propia morfología y propiedades, los que difieren de los horizontes supra y subyacentes (Porta et al., 2003).

### **2.3.3. Identificación de los Horizontes del Suelo**

Describir un pedón de suelo consiste básicamente en describir sus distintos horizontes. El pedón incluye los horizontes genéticos, las capas orgánicas naturales que a veces cubren la superficie y, el material originario u otras capas que están por debajo del solum y que influyen en la génesis y el desarrollo del suelo (Luzio, 1982).

Además de los horizontes genéticos muchos suelos tienen capas heredadas de materiales estratificados. Al hacer el examen de un pedón se debe ser objetivo, sin tratar de presumir inmediatamente su génesis o nomenclatura. La descripción objetiva de los horizontes y capas del pedón es la materia prima de toda buena clasificación de suelo. Nada hay que pueda sustituir a una buena y objetiva descripción. Sin ella no es siquiera posible una correcta y segura interpretación de los datos analíticos de laboratorio (Sánchez, 1981).

Los pedones difieren en un gran número de condiciones. El espesor varía mucho de uno a otro pedón, pero en términos generales la descripción se hace hasta encontrar algún manto de roca firme, o hasta unos 150 o 200 cm de profundidad en materiales originales sueltos (Buol et al., 2003).

También es muy variable el grado de expresión de los horizontes. En formaciones geológicas frescas, como sucede en algunos suelos aluviales, en conos de deyección, playas arenosas o capas volcánicas recientes, suele no haber horizontes genéticos.

Al describirse un pedón, por lo general se localizan los límites entre horizontes, se miden sus profundidades y espesores, y se estudia el pedón en conjunto antes de describir y designar a cada uno de los horizontes por separado (Henriquez y Cabalceta, 1999).

### **2.3.4. Horizontes de Diagnóstico**

Los horizontes de diagnóstico son aquellos horizontes del suelo que tienen una serie de propiedades iguales y medibles, utilizadas para la identificación de las unidades de suelos. Se dividen en epipedones y horizontes subsuperficiales.

### 2.3.5. Epipedones

Los epipedones son horizontes de diagnóstico que se encuentran en la superficie del suelo y que están oscurecidos por la presencia de materia orgánica. Los encontramos de formación natural: Folístico, Hístico, Melánico, Móllico y Úmbrico, así como formados por la acción de hombre: Antrópico y Plaggen. Jaramillo (2011), describe brevemente los epipedones:

- **Epipedón Folístico**, horizonte superficial o cercano a la superficie, constituido por material orgánico. Está saturado de agua durante menos de 30 días y no está drenado artificialmente.
- **Epipedón Hístico**, es una capa (uno o más horizontes) que está caracterizada por estar saturada, durante 30 días o más acumulativos, y presentar características de reducción durante algún tiempo en años normales (o está drenado artificialmente).
- **Epipedón Melánico**, caracterizado por su color negro debido al alto contenido de materia orgánica asociada a minerales secundarios normalmente alófonos o a complejos alumino-húmicos. La materia orgánica proviene, generalmente, de la descomposición de raíces de gramíneas; densidad aparente baja.
- **Epipedón Móllico**, es un horizonte superficial bien estructurado, oscuro, con alta saturación de bases y moderado a alto contenido de materia orgánica.
- **Epipedón Ochrico**, es el horizonte superficial que no cumple con las condiciones exigidas para ser cualquier otro epipedón.
- **Epipedon Úmbrico**, se parece morfológicamente al epipedón móllico, diferenciándose únicamente por el porcentaje de saturación de bases, menor o igual al 50%, mientras que en el móllico es mayor de 50.
- **Epipedón Antrópico**, muestra alguna evidencia de efectos de actividad humana y cumple los requisitos del mollico excepto en lo referente a régimen de humedad o al contenido en fosfatos.
- **Plagen**, es una capa superficial hecha por el hombre de un espesor superior a 50 cm producida por prolongadas y continuas adiciones de estiércol y paja.

Normalmente tiene marcas de pala, fragmentos de ladrillo y cerámica en todo su espesor así como estratificaciones de arena de escaso espesor, que probablemente se produjeron por efecto de las lluvias y posteriormente fueron enterradas por laboreo.

### **2.3.6. Horizontes Subsuperficiales:**

- **Horizonte Álbico:** El horizonte álbico es un horizonte eluvial de 1.0 cm o más de espesor, que contiene 85 por ciento o más (por volumen) de materiales álbicos. En general, ocurre debajo de un horizonte A, pero puede estar en la superficie de un suelo mineral. Por lo general, abajo del horizonte álbico existe un horizonte argílico, cámbico, kándico, nátrico o espódico o un fragipán. El horizonte álbico puede yacer entre un horizonte espódico y un fragipán o un horizonte argílico, o puede estar entre un horizonte argílico o un horizonte kándico y un fragipán. Puede estar entre un epipedón mólico y un horizonte argílico o nátrico o entre un horizonte cámbico y un horizonte argílico, kándico o nátrico o un fragipán. El horizonte álbico puede separar horizontes, los cuales si estuvieran juntos, podrían reunir los requisitos para un epipedón mólico; o separar lamelas que en su conjunto pudieran satisfacer los requisitos de un horizonte argílico. Las lamelas no se consideran como parte del horizonte álbico.

- **Horizonte Espódico:** Un horizonte espódico es una capa iluvial con 85 por ciento o más de materiales espódicos. Las características requeridas para un horizonte espódico normalmente es un horizonte subsuperficial que subyace a un horizonte O, A, Ap o E. Sin embargo, puede satisfacer la definición de un epipedón úmbrico. Un horizonte espódico deberá tener 85 por ciento o más de materiales espódicos en una capa de 2.5 cm o más de espesor que no forma parte de ningún horizonte Ap.

- **Horizonte ágrico:** Es un horizonte iluvial que se forma bajo condiciones de cultivo y contiene cantidades significativas de limo, arcilla y humus iluvial. El horizonte ágrico se encuentra directamente debajo de un horizonte Ap.

- **Horizonte álbico:** Es un horizonte eluvial blanco con un espesor 1 cm y como mínimo un contenido del 85%, en volumen, de materiales álbicos.

- **Horizonte argílico:** Horizonte B subsuperficial (Bt) que presenta evidentes síntomas de iluviación de arcilla.
- **Horizonte cálcico:** Horizonte iluvial en el cual el carbonato cálcico secundario u otros carbonatos se han acumulado en un espesor significativo.
- **Horizonte cámbico:** Resultado de alteraciones físicas, transformaciones químicas y translocaciones o de la combinación de dos o más de estos procesos.
- **Horizonte glóssico:** Resultado de la degradación de un horizonte argílico, kándico o nátrico después de que las arcillas y los óxidos de hierro han sido traslocados.
- **Horizonte yipsico.** Horizonte iluvial de más de 15 cms de espesor en el que se ha acumulado yeso secundario en una extensión significativa.
- **Horizonte kándico:** Horizonte subsuperficial verticalmente continuo subyacente a un horizonte superficial de textura más gruesa, presenta eluviación de arcilla.
- **Horizonte Nátrico:** Es un tipo especial de horizonte argílico caracterizado por la presencia de una cantidad significativa de sodio.
- **Orstein:** Está constituido por materiales spódicos con una capa cementada en un 50% o más y con un espesor mínimo de 25 mm.
- **Horizonte óxico:** Se desarrolla en suelos que están sujetos a intensos procesos de meteorización y no presenta propiedades ándicas del suelo.
- **Horizonte petrocálcico:** Horizonte iluvial que está cementado o endurecido y en el cual hay acumulaciones de carbonato cálcico secundario u otros carbonatos que se extienden a lo largo del horizonte.
- **Horizonte petrogypsico:** Horizonte iluvial que está cementado o endurecido y que tiene como mínimo 10 cm de espesor, presentando acumulaciones de yeso secundario en toda su extensión.

- **Horizonte plácico:** El horizonte plácico es una capa delgada, negra o roja oscura, que está cementada por hierro (o hierro y manganeso) y materia orgánica.

- **Horizonte sálico:** Horizonte de acumulación de sales que son más solubles que el yeso en agua fría.

- **Horizonte sómbrico:** Horizonte subsuperficial formado bajo condiciones de drenaje libre en los suelos minerales.

### 2.3.7. Procesos Específicos de Translocación

- **Eluviación:** Es el movimiento de salida de algún material de una porción del suelo; esta porción del suelo se presenta empobrecida en el material que está aportando, con respecto a la porción del suelo que lo está recibiendo y que se encuentra ubicada por debajo de aquella dentro del suelo. Este proceso genera un horizonte E; que, cuando está muy avanzada la salida de materiales coloidales de él, se decolora, dando lugar a un horizonte diagnóstico álbico (todos los álbicos son E, pero no todos los E son álbicos). Los horizontes álbicos son frecuentes en los spodosols.

- **Iluviación:** Se refiere a la entrada de algún material a una porción del suelo; esta porción del suelo presenta un enriquecimiento en el material que recibe, con respecto al contenido que presenta el resto del suelo en él. Este proceso genera horizontes B; si la acumulación es de arcilla, se generan horizontes argílico, nátrico o kándico, frecuentes en Alfisoles, en Aridisoles y en Ultisoles; si lo que se está acumulando es materia orgánica, con o sin Fe, se pueden formar horizontes espódico (característico de los spodosols), plácico, sómbrico o ágrico.

### 2.3.8. Procesos Específicos Complejos:

#### - **Podsolización**

La formación de spodosols se inicia con la alteración del material parental, que libera aluminio y/o hierro y con la humificación de los materiales orgánicos presentes; hay una lixiviación intensa de bases y una alta acidificación del medio que favorece la quelatación del aluminio y del hierro por los compuestos orgánicos y los procesos de eluviación – iluviación de aquellos quelatos.

En el horizonte spódico se presentan procesos de rubefacción, de marronización o, incluso de melanización, dependiendo de la composición de los materiales que se estén acumulando en él. En el horizonte eluvial se presenta acumulación de sílice y leucinización (Jaramillo, 2011).

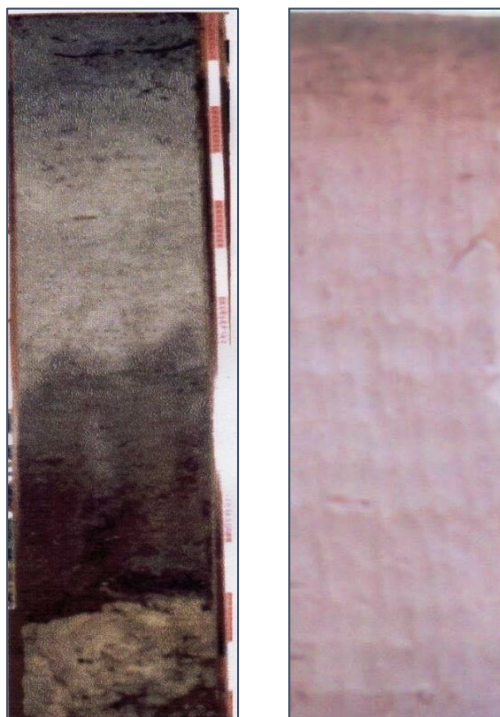
### **2.3.9. Suelos de Arenas Blancas Fuertemente Lixiviadas**

Buringh (1970) hace referencia a la presencia de siete millones de ha de Spodosols en las zonas bajas de las regiones tropicales húmedas.

En la Amazonía Peruana, existen alrededor de 100 000 ha de Spodosols (INIPA, 1984).

Zamora, (1973) identifica Spodosols en la Amazonía Peruana y refiere como centros importantes de ocurrencia las inmediaciones de Iquitos, Pucallpa y Yurimaguas.

Kauffman et al. (1998), proponen para la zona de Iquitos, el grupo de suelos arenosos fuertemente lixiviados (Arenosoles y Podzoles) cuyo proceso de formación dominante es la podsolización, apareciendo un horizonte B espódico, presente muchas veces debajo de los 2 m de profundidad, en este caso el suelo es clasificado como Arenosol y cuando este horizonte es observado en la parte superior del suelo, éste es clasificado como Podzol.



**Figura 3: Perfiles de Suelos Arenosos  
(Fuente: Kauffman, 1998)**

A pesar de las grandes áreas de podzoles tropicales que cubren todo el mundo, más de 140 000 km<sup>2</sup> de la Amazonía y el hecho de que han sido reconocidos ya en 1941 (Zamora, 1973), estos sistemas todavía no se conocen. La mayor parte del conocimiento sobre su génesis y dinámica proviene de estudios realizados en la Guyana Francesa, Brasil y Perú (Veillon & Soria-Soriano, 1988). Sistemas similares fueron brevemente descritos en África y en Borneo.

## **2.4. Materia Orgánica del Suelo**

La Materia Orgánica del Suelo es una mezcla de restos vegetales y animales y los productos de su descomposición, sustancias húmicas de síntesis y millones de organismos vivos; meso y microfauna y microorganismos, que junto con las enzimas, son los responsables de los innumerables procesos bioquímicos y biológicos que ocurren en el suelo y, por lo tanto, de su funcionamiento (Carballas, 2010).

### **2.4.1. Funciones de la Materia Orgánica y Calidad del Suelo**

A pesar de la que la materia orgánica del suelo es un componente minoritario (menos de un 5%, por lo general) en la mayoría de suelos, la elevada reactividad que presentan los componentes que la integran hace que tenga una gran importancia en la productividad del suelo y en sus funciones medioambientales. La disminución del contenido de la materia orgánica del suelo va asociada a una degradación del suelo. Al ser una propiedad dinámica, constituye uno de los indicadores de calidad.

El papel de la materia orgánica, en las propiedades físicas del suelo, está relacionado a la formación y estabilización de agregados. Debido a las sustancias húmicas, la materia orgánica del suelo aumenta la capacidad de retención de agua, que puede llegar a ser unas cinco veces mayor que la de los minerales de arcilla. Los horizontes bien estructurados presentan una elevada porosidad y una conductividad hidráulica alta. La estabilidad de los agregados de la superficie del suelo hace que disminuya el riesgo de sellado y encostramiento superficial y, en consecuencia que el suelo presente una tasa de infiltración elevada, con lo que disminuirá el riesgo de erosión. Asimismo, la materia orgánica juega un papel muy importante en las propiedades químicas del suelo debido a que las sustancias húmicas, por su carga eléctrica y su elevada superficie específica, dan lugar a importantes reacciones de superficie. Por un lado, interactúan con los cationes de la fase líquida en procesos de intercambio catiónico, almacenando nutrientes en una forma fácilmente disponible para las



plantas. Un suelo rico en sustancias húmicas liberará los solutos del agua del suelo mejorando su calidad y disminuyendo la toxicidad para las plantas y el riesgo a que pasen a la cadena trófica. Por otro lado, las sustancias húmicas por su carácter ácido-base (carga variable), contribuyen a la capacidad amortiguadora del suelo frente a cambios de pH y de concentraciones de la fase líquida.

La materia orgánica del suelo constituye una fuente de alimentos y energía metabólica para los microorganismos y la fauna del suelo. Al mineralizarse, libera macronutrientes para las plantas: nitrógeno, fósforo y azufre, entre otros, así como micronutrientes; mientras que, al biodegradarse, puede liberar vitaminas y aminoácidos, entre otros. También se ha descrito que contiene reguladores del crecimiento y que puede tener efectos antibióticos. Por otro lado, los suelos tienen capacidad para el secuestro de carbono de la atmósfera, al poderlo almacenar en forma de materia orgánica, que puede permanecer estable durante mucho tiempo, lo que tiene un efecto favorable, al contribuir a disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> de la atmósfera y con ello el efecto invernadero y el calentamiento global. Porta

#### **2.4.2. Distribución de la Materia Orgánica en el Interior del Suelo**

El contenido de materia orgánica en los suelos normalmente decrece en forma regular al aumentar la profundidad en el perfil; corrientemente, el contenido de materia orgánica es mayor en el horizonte A del suelo, con valores, algunas veces, muy superiores a los que presentan los otros horizontes. Con respecto a la distribución de la materia orgánica, expuesta en el párrafo anterior, se presentan algunas variaciones que la distorsionan, producidas por algunos procesos especiales en el suelo; por ejemplo, cuando se encuentran horizontes A de suelos enterrados, generalmente se presentan incrementos abruptos en el contenido de materia orgánica del suelo, a cierta profundidad dentro del perfil, donde se encuentran dichos horizontes enterrados. Esta distribución irregular del contenido de materia orgánica, a través del perfil, corresponde casi siempre a suelos que llevan la partícula Fluv en su nombre taxonómico, aunque, también, se presenta en subgrupos Thaptic. También se distorsiona el patrón de distribución normal de la materia orgánica cuando el suelo tiene un horizonte eluvial de materia orgánica, el cual tiene un contenido menor de aquella que el horizonte iluvial en el cual se está acumulando y que está subyaciendo al eluvial. Es evidente la pérdida de materia orgánica que se presenta en el segundo horizonte: un horizonte eluvial álbico en el cual, el contenido llega casi a cero a los 40 cm de profundidad; en cambio, en el

tercer horizonte se está acumulando la materia orgánica perdida en el anterior, desarrollándose un horizonte iluvial espódico. El altísimo contenido de materia orgánica que presenta este suelo en el horizonte superficial, se debe a que ese horizonte está compuesto de materiales orgánicos (litter) que se han acumulado en la superficie del suelo.

## 2.5. Propiedades físicas del suelo

### 2.5.1. Textura del suelo

La textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina, en el suelo; estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar) y son definidas como se muestra en la Tabla N° 2, según varias instituciones internacionales.

**Tabla 2: Definición de los separados del suelo (Fuente: Jaramillo, 2011)**

SEPARADO	RANGO DE DIÁMETRO DE PARTÍCULA ( mm )		
	USDA	ISSS*	DIN y BSI**
ARENA	2 - 0.05	2 - 0.02	2 - 0.08
LIMO	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002	0.08 - 0.002
ARCILLA	< 0.002	< 0.002	< 0.002

\* Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.

\*\* DIN: Instituto Alemán de Estándares; BSI: Instituto Británico de Estándares.

En la tabla anterior, se observa la coincidencia que hay entre los diferentes sistemas, al establecer el límite de tamaño para las arcillas. Esto obedece a las notorias diferencias de comportamiento físico-químico de estas partículas, con respecto a las de la arena y el limo, pues éstas son prácticamente inertes, desde el punto de vista químico, en tanto que las arcillas se comportan como coloides cargados eléctricamente; también, se observa que no hay un límite estandarizado entre la arena y el limo, lo cual demuestra que su definición es, hasta cierto punto, arbitraria y que tiene un objetivo eminentemente práctico. El sistema de clasificación más aceptado en nuestro medio es el que propone el USDA, el cual subdivide los separados en los rangos que se exponen en la Tabla N° 2. (Jaramillo, 2011)

La textura se refiere a la proporción relativa de arena (A), limo (L) y arcilla (Ar) que existe en un suelo; esta categorización se refiere a las partículas menores de 2 mm. Las partículas mayores a 2 mm corresponden a gravas, guijarros y piedras que no son consideradas dentro de la textura. La textura es una propiedad muy importante, ya que tiene una influencia muy

grande, por medio de su componente arcilla, sobre las propiedades químicas, e indirectamente también afecta las características biológicas del suelo.

Lo útil de conocer la textura o clase textural de un suelo es que permite hacer una deducción aproximada de sus propiedades generales, y así ajustar las prácticas de manejo requeridas; también puede utilizarse para evaluar y valorar tierras de acuerdo a su capacidad de uso, para clasificar suelos, etc.

Dentro de las características físicas sobre las que influye la textura en forma directa, se pueden nombrar el espacio aéreo, la porosidad total, la consistencia, el movimiento y almacenaje de agua, etc. Se dice que al disminuir el tamaño de las partículas, aumenta en forma inversa el área superficial expuesta, para ello se utiliza el término “superficie específica” para referirse al área por unidad de masa de suelo ( $m^2/g$ ). Esta característica es la que determina principalmente que la textura influya mucho sobre las propiedades físicas y químicas, especialmente en la proporción y magnitud de las reacciones de los suelos, al definir el espacio sobre el cual ocurrirán las reacciones.

Un suelo arcilloso tendrá mayor cantidad total de poros que un suelo arenoso, aunque el tipo de poros en este último favorezca más el movimiento del agua en el suelo que en el suelo arcilloso. Algunos cultivos crecen dificultosamente en suelos muy pesados o arcillosos, en tanto que otros no pueden hacerlo en suelos arenosos. Los microorganismos del suelo también se ven afectados en forma indirecta por la textura, ya que una textura pesada provee condiciones de reducción constantes lo cual afecta el crecimiento normal de algunos microorganismos del suelo.

El análisis mecánico, granulométrico o textural, es el utilizado para determinar los porcentajes relativos de las tres partículas primarias del suelo menores de 2 mm: arenas, limos y arcillas.

Las arcillas tienen un tamaño menor de 2 micras y son las partículas más pequeñas. Desde el punto de vista físico le dan al suelo las características de plasticidad y pegajosidad y tienen una influencia directa sobre el movimiento y almacenaje del agua; desde el punto de vista químico, las arcillas están relacionadas con la fertilidad de los suelos. Mineralógicamente, el término arcilloso es genérico, ya que existen muchos tipos de arcillas las cuales se

comportan en forma muy diferente en el suelo (arcillas 1:1, 2:1, etc.), y que varían en sus propiedades físicas y químicas notablemente.

Los limos, son las partículas intermedias (0,002 y 0,05 mm según el sistema USDA), tienen poca pegajosidad y se sienten suaves al tacto similar a partículas de polvo o talco. Aunque su participación en la textura provee un balance adecuado a los suelos francos, los limos tienen una limitada influencia en el intercambio iónico.

Las arenas son las partículas más grandes (mayores de 0,05 mm según el sistema USDA) y se sienten ásperas al tacto, no plásticas ni pegajosas. La categoría de arenas puede estar subdivididas en otras categorías (arenas gruesas, medias y finas).

De la combinación de estos tres componentes se originan las clases texturales: franco limos, arcillo arenoso etc. El suelo franco (F) contiene una mezcla de arena, limo y arcilla en tales proporciones que exhibe las propiedades de las tres fracciones de modo equilibrado: contiene menos arcilla que arena y limo y las propiedades de la primera se expresa con mayor fuerza. La arena, el limo y la arcilla, son clasificadas de acuerdo a su tamaño.

Diámetro (mm)	SISTEMA DE CLASIFICACION DE PARTICULAS			Diámetro (mm)
	USDA	ISSS	EUROPEO	
2,0				2,0
1,0	Arena muy Gruesa	Arena gruesa	Arena Gruesa	0,6
0,5	Arena Gruesa		Arena Media	0,2
0,25	Arena Media			
0,10	Arena Fina	Arena fina	Arena fina	0,06
0,05	Arena muy Fina		Limo grueso	
0,02	Limo	Limo	Limo medio	
0,002			Limo fino	
	Arcilla	Arcilla	Arcilla gruesa	0,002
			Arcilla media	
			Arcilla fina	
				0,0002

**Figura 4: Sistema de Clasificación de Partículas**  
(Fuente: Enriquez et al., 1999)

## 2.6. Mineralogía del Suelo

Un mineral es un sólido formado inorgánicamente a base de elementos específicos dispuestos en una ordenación estructural característica. La estructura mineral puede permitir

sustituciones parciales de unos elementos por otros, sin que, por eso, los cristales en sí dejen de ser homogéneos. Una determinada roca suele contener varios minerales diferentes, los cuales hereda el suelo que se forma a partir de ella. (Thompson, 1988).

### **2.6.1. Los Silicatos**

Los nesosilicatos constituyen el tipo más simple de los silicatos. Se hallan compuestos de tetraedros independientes, cada uno de los cuales posee cuatro oxígenos propios y no compartidos, a diferencia de otras clases de silicatos. El más corriente de todos es el olivino, mineral de color oscuro. La fórmula química del olivino  $(\text{Fe, Mg})_2\text{SiO}_4$ , expresa la relación entre el silicio y el oxígeno. Su estructura puede considerarse como un grupo de tetraedros, la mitad apuntando hacia arriba y la mitad hacia abajo estrechamente empaquetados, formando un mineral denso. A partir de las caras adyacentes de parejas de tetraedros se forman octaedros. El magnesio y el hierro ferroso (+2) pueden intercambiarse en los espacios octaédricos, y la mayor parte del olivino contiene cierta cantidad de ambos. La meteorización del suelo libera gradualmente estos cationes, que devienen disponibles para las plantas cuando la estructura del nesosilicato se desmorona. El olivino se presenta en el basalto y otras rocas ricas en hierro y magnesio, pero relativamente pobres en silicio. Tales rocas reciben el calificativo de básicas o ultrabásicas, debido precisamente a su bajo contenido en silicio. (Thompson, 1988).

Los inosilicatos se componen de cadenas, dobles o sencillas y suelen presentarse en las rocas y suelos como minerales de color oscuro (aunque existen también otros minerales oscuros y algunos inosilicatos son claros). Los que se componen de cadenas aisladas, reciben el nombre de piroxenos y los que forman cadenas dobles, el de anfíboles, pero la distinción entre ellos es a menudo difícil, y no muy importante cuando se trata de suelos. La estructura de los inosilicatos consiste, esencialmente, en haces de cadenas paralelas, unidas por cationes alojados en los espacios octaédricos o mayores existentes entre las cadenas. Su química es muy compleja, algunas fórmulas idealizadas son  $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Al,Si})_2\text{O}_6$  para la augita (mineral de cadenas aisladas) y  $\text{NaCa}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Si,Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  para la hornablenda (mineral de cadenas dobles). Estos minerales son fuente de varios nutrientes esenciales para las plantas que se liberan por meteorización.

El tectosilicato más sencillo es el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ). Su estructura consiste en un entramado tridimensional de tetraedros, cada uno de los cuales se halla unido a otros cuatro (uno en cada vértice). Estos tetraedros no pueden ensamblarse de manera muy estrecha y la estructura contiene huecos relativamente grandes, donde a veces, se encuentran moléculas de agua y otras impurezas pero no son retenidas por enlaces iónicos, ya que la fórmula  $\text{SiO}_2$  no presenta cargas eléctricas libres. El cuarzo puro no contiene nutrientes esenciales para las plantas y ocurre en las rocas, sólo cuando la formación de otros minerales deja un exceso de silicio y oxígeno. Las rocas que contienen cuarzo reciben el calificativo de ácidas. El cuarzo se confunde demasiado a menudo con la arena. Es verdad que algunas arenas y areniscas muy meteorizadas son casi cuarzo puro, pero debe tenerse en cuenta que las partículas de cuarzo pueden presentar desde el tamaño de la arcilla fina hasta el de un guijarro. En el suelo, el cuarzo viene parcialmente heredado de la roca madre y parcialmente se forma en el mismo, a partir de los residuos de la meteorización de otros silicatos. Incluso en el interior de las células vegetales, se forma algo de cuarzo a partir del silicio absorbido junto con los nutrientes. Estos cristales de cuarzo, pequeños y alargados, reciben el nombre de ópalo vegetal, y a veces proporcionan información clave sobre la vegetación que el suelo sustentó en épocas anteriores. (Thompson, 1988).

Cuando algunos tetraedros contienen aluminio en vez de silicio, resultan otros tectosilicatos distintos del cuarzo. Cada  $\text{Al}^{+++}$ , proporciona una carga menos que el  $\text{Si}^{++++}$ , por lo que se requieren cargas positivas adicionales para equilibrar las cargas negativas del oxígeno. Como la estructura de tectosilicato no contiene espacios octaédricos, esas cargas positivas deben proceder de cationes grandes. Los minerales resultantes son los feldespatos, por otra parte los más abundantes en la corteza terrestre. Los feldespatos más importantes son la ortoclasa (de fórmula ideal  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) y la plagioclasa (comprendiendo todas las formas intermedias entre  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  y  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ).

Los filosilicatos o silicatos foliáceos son especialmente importantes en el suelo porque comprenden los minerales silicatos de la arcilla y las micas. Ambos grupos tienen mucho que ver con la química y fertilidad del suelo.

Los filosilicatos se componen de hojas que poseen enlaces internos muy fuertes, aunque débilmente unidas entre sí. Estas hojas poseen tan sólo el espesor de tres o cuatro iones oxígeno y proporcionan a la mica su bien conocida propiedad de exfoliarse en láminas

ultrafinas. Las hojas internas de los filosilicatos pueden imaginarse como empanadas de láminas tetraédricas y octaédricas. En algunos filosilicatos estas láminas alternan y ocurren en números iguales, se trata de los silicatos 1:1 en contraste con los 2:1 que poseen láminas de tetraedros por encima y por debajo de cada lámina octaédrica, en cada “empanada” u hoja.

Las láminas tetraédricas se componen de tetraedros que comparten tres oxígenos de los cuatro que poseen en sus vértices. Los restantes oxígenos apuntan todos a la misma dirección y forman anillos.

## **2.7. REACCION DEL SUELO**

### **2.7.1. EL pH**

La reacción del suelo se evalúa al determinar el pH del mismo, es decir, al establecer el logaritmo del inverso de la concentración de  $H_3O^+$  que hay en la solución del mismo. (Jaramillo, 2011).

El pH, según Fassbender (1987), es una relación entre los contenidos de protones y de iones  $OH^-$ , por lo cual se cumple que en agua pura  $pH + pOH = 14$ ; la relación anterior implica entonces que una solución tendrá una condición neutra ( $pH = pOH$ ) cuando su pH sea igual a 14.

### **2.7.2. Mediciones del pH del Suelo**

Las mediciones del pH del suelo pueden ser bastante ambiguas. Los dos factores que influyen de manera apreciable en estas mediciones son la relación existente entre la solución y el suelo y la concentración salina de equilibrio. Normalmente, al aumentar cualquiera de los dos factores disminuye el valor medido de pH. No es sorprendente el hecho de que los cationes de hidrógeno y aluminio deban concentrarse en o cerca de las superficies de los coloides del suelo, y que luego puedan desplazarse de estas superficies mediante el intercambio con cationes solubles. Una vez que el aluminio ha pasado a formar parte de la solución, sus iones se pueden hidrolizar y disminuir más el pH observado. La retención preferencial que tienen los coloides del suelo con respecto a los polímeros hidratados de aluminio, puede estimular las reacciones de hidrolización a su terminación y, con ello, abatir más el pH en las suspensiones arcillosas que en las soluciones ordinarias

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Ubicación del Proyecto

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Fundo Zungarococha de la Facultad de Agronomía, localizado en el Distrito de San Juan Bautista, Provincia de Maynas, Región Loreto.

El área, se encuentra a una altitud de 117.95 metros sobre el nivel del mar.

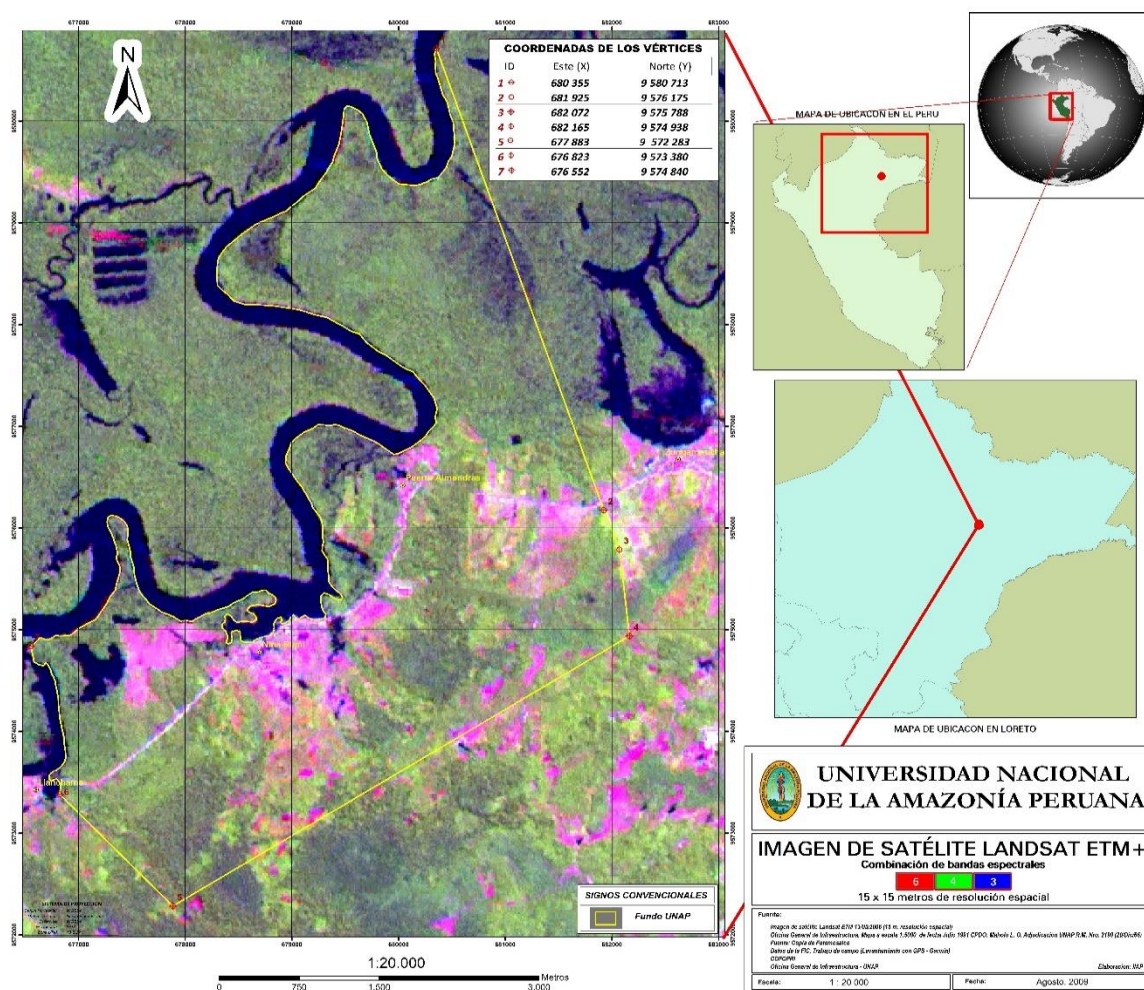


Figura 5: Mapa de Ubicación del área de estudio  
(Fuente: UNAP, 2009)



### 3.2. Descripción de Perfiles y Muestreo de Horizonte Diagnóstico

Esta labor se efectuó en los perfiles de las diversas calicatas abiertas, siguiendo las directivas del SICS-ISRIC-FAO (1999).

La caracterización física se realizó, siguiendo los lineamientos propuestos en el Soil Survey División Staff (1993). A continuación se presenta la cartilla utilizada en campo:

UNALM - SUELOS		PROYECTO		FECHA y HORA		Coord. UTM	CALICATA						
DESCRIPCION DE PERFILES							A						
Elab. Ing. M. VALENCIA R.													
2	LOCALIDAD	PAISAJE	RELIEVE	PENDIENTE (%)		VEGETACION	ALTITUD						
0	MATERIAL PARENTAL	PEDREG. SUPERF (%)	F. GEO / LITO	PRECIP. ANUAL (mm)	TEMP. MED. AN (°C)	REG. HUMED	REG. TEMP						
1	PERMEABILIDAD	DRENAJE	EROSION (tipo, grado)	ERIPEDON	HORZ. SUBS.	CARAC. DIAG.	NIVEL ESTUDIO						
5		NAPA FREATA											
SOIL TAXONOMY ( 2010 )		NOMBRE SUELO	ZONA DE VIDA	USO MAYOR (2009)	USO ACTUAL	MUESTRAS							
C PROFUNDIDAD (cm)													
A HORIZONTE Genético													
R	COLOR (Munsell)	Hum											
A		Sec											
C	MOTRADO	Col											
T		t											
E	AREN-LIM-ARCILLA	(%)											
R	CLASE TEXTURAL	Cmp											
F	FRAGM. GROSOS	Lab											
I		Tipo											
S	ESTRUCTURA	t											
T CONSISTENCIA													
C RAICES													
A LIMITE													
S OTRAS CARACT.													
C pH													
A CARBONATOS (%)													
R C.E. (ds/m)													
A PSI (%)													
C MATER ORGANICA. (%)													
T CARBONO ORGANICO (%)													
E P (mg/kg suelo)													
R K (mg/kg suelo)													
CIC SUELO (cmol(+) / kg suelo)		SO											
		Acet											
Q		Ca											
U CATIONES		Mg											
I CAMBIABLES		K											
M (cmol(+) / kg suelo)		Na											
I		Al											
C SATURACION BASES		Acw											
A		SC											
S CIC Arcilla (cmol(+) / Kg arcilla)													
		En											
		e											
Temper		°C	Feb	Mar	Abr	My	Jun	Jul	Ags	Set	Oct	Nov	Dic
Precip		mm											

Antes de la descripción morfológica del perfil, se tomaron vistas fotográficas del mismo y del horizonte diagnóstico en particular, precisando la profundidad de su presentación, con el fin de relacionar las características internas del suelo con las características del paisaje.

### **3.3. Análisis Químico y Mineralógico**

Los análisis de caracterización de los horizontes encontrados, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina y el análisis mineralógico, en el Laboratorio de Difractometría de Rayos X de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Mayor de San Marcos.

#### **3.3.1. Determinación de Materia Orgánica del Suelo**

Se llevó a cabo utilizando el método de Walkley y Black, con el cual se estimó el contenido de carbono orgánico de la muestra de suelo. Es el método más utilizado en nuestro medio para evaluar la materia orgánica del suelo.

Según Kumada (1987) y el SSL (1995), citados por Jaramillo (2011), este método actúa sobre las formas más activas del carbono orgánico que posee el suelo y no produce una oxidación completa de dichos compuestos, por lo que se deben hacer ajustes a los resultados obtenidos en el laboratorio, cuando se quieren expresar en términos de contenido de materia orgánica. El SSL (1996) recomienda utilizar un factor de corrección igual a 1.724, asumiendo que la materia orgánica tiene 58% de carbono orgánico. Motta et al (1990) exponen el procedimiento para esta determinación:

- Se pesa 2 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm, dependiendo del color del suelo: más oscuro menor cantidad y viceversa.
- Se coloca la muestra en un erlenmeyer de 250 mL y se le adiciona 5 mL de dicromato de potasio 1N y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado, se agita y se deja enfriar; hay que tener precaución en este punto pues la reacción que se presenta es violenta.
- Se prepara un blanco, es decir, una mezcla de todos los reactivos mencionados pero sin suelo.
- Se titula la mezcla inicial y el blanco con una solución de sulfato ferroso 1N; la titulación está completa cuando se obtiene un color verde.
- Se calcula el contenido de carbono orgánico.

- Se transforma el contenido de carbono orgánico a contenido de materia orgánica, en porcentaje (%MO).

Las ecuaciones a utilizar en esta determinación son:

$$\% C = V (1-M/B) 0.003 / P_m$$

Donde:

%C = Contenido de carbono orgánico en %.

V = Volumen de dicromato de potasio empleado en la muestra y en el blanco (5 mL).

M = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra.

B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco.

P<sub>m</sub> = Peso de la muestra.

$$\%MO = \%C \times 1.724$$

El SSL (1995) recomienda que cuando el contenido de carbono orgánico da valores mayores a 8%, no debe ser considerado y el contenido de materia orgánica del suelo en cuestión debe ser evaluado por el método de calcinación a 400 °C.

### **3.3.2. Determinación de la Textura del Suelo**

Se determinó por sedimentación, utilizando la metodología del Hidrómetro de Bouyoucos, que consiste en lo siguiente:

- Se pesa 50 g de suelo, cernido por tamiz de 2 mm y seco al aire.
- Se coloca el suelo en el vaso de una batidora (especialmente diseñada para no moler el suelo), se le agregan 10 a 20 mL de dispersante y se bate durante 10 minutos.
- Se transfiere la suspensión anterior a un cilindro graduado de 1000 mL, se lava el vaso con agua destilada y se completa el volumen del cilindro.

- Se agita la suspensión unas 10 veces, vigorosamente, con un émbolo de caucho y se deja reposar, tomando registro del tiempo a partir del momento en que se retire el émbolo.
- A los 40 s de reposo se hace la primera lectura con el hidrómetro, además, se anota la temperatura de la suspensión; con esta lectura se calcula el contenido de arcilla más limo.
- Al terminar la lectura de los 40 s, se retira el hidrómetro y se deja en reposo la suspensión hasta completar 2 horas. Al cabo de éstas, se introduce nuevamente el hidrómetro y se hace otra lectura; se toma también la temperatura; con esta lectura se calcula el contenido de arcilla (Ar%).
- A continuación, se calcula el contenido de limo (L%).
- Los porcentajes obtenidos se llevan al triángulo textural y se define la clase textural correspondiente a la muestra de suelo.

### **3.3.3. Análisis de Tamaño de Partículas**

El análisis del tamaño de las partículas de arena, se determinó en el Laboratorio de Suelos por tamizado, según lo propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

### **3.3.4. Determinación del pH del suelo**

Se determinó el pH del suelo potenciométricamente, de una suspensión suelo-agua, en una relación 1:1, cuyo procedimiento es el siguiente:

- Medir 20 ml de suelo en un vaso de 50 o 100 ml.
- Adicionar 20 ml de agua destilada.
- Agitar intermitentemente durante 30 minutos. Dejar en reposo por 30 minutos.
- Leer el pH en el potenciómetro sumergiendo el electrodo. El potenciómetro debe previamente ser calibrado con soluciones buffer.

### 3.3.5. Determinación de Óxidos de Hierro

Para determinar el contenido de óxidos de hierro de los suelos, se aplicó el método del citrato-ditionito, descritos por Mehra & Jackson (1960). El procedimiento es el siguiente:

- a. Se trituroó aprox. 5 g de tierra fina para luego pasarlo por un tamiz de 0,5 mm.
- b. Se pesó 0.01 g de la tierra fina, que posea hasta 0,5 g de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  extraíble, en un tubo de centrífuga de 100 ml. En las muestras se incluyó dos blancos y una muestra de referencia.
- c. Se añadió 45 ml de solución tampón y se colocó en baño maría a  $75^\circ\text{C}$ . Advertencia: la temperatura no debe superar los  $80^\circ\text{C}$ .
- d. Se adicionó 1 g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  sólido agitando la mezcla constantemente durante un minuto y luego ocasionalmente durante los siguientes 5 minutos, con una varilla de vidrio.
- e. El paso anterior se repitió dos veces más.
- f. Se añadió 10 ml de solución saturada de KCl y se volvió a calentar en baño maría durante 5 minutos.
- g. Se centrifugó y decantó el sobrenadante transparente en un matraz aforado de 250 ml.
- h. Se repitió el paso c y f , para añadir el segundo sobrenadante al matraz volumétrico correspondiente.
- i. Se llevó a volumen con agua.
- j. Se preparó diluciones de 5x y 50x.
  - Dilusión 5x
    - Pipetear 1 ml del extracto y 4 ml de agua en un tubo de ensayo y homogeneizar.
  - 50x dilución
    - Pipetear 1 ml de extracto y 9 ml de solución matriz en un tubo de ensayo y homogeneizar. Pipetear 1 ml de este extracto diluido 10x y 4 ml de agua en un tubo de ensayo y homogeneizar.
- k. Medir Fe por Absorción Atómica 248,3 nm usando una llama de aire / acetileno.

Cálculo:

$$\% \text{Fe} = \frac{(a-b) \times 25 \times df \times mcf}{s}$$

Donde:

- a = mg/L del extracto de muestra diluida
- b = mg/L del blanco diluido
- df = factor de dilución (5 o 50)
- mcf = factor de corrector de corrección de humedad
- s = peso de la muestra en mg

Factor de Corrección:

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1.43 \times \% \text{Fe}$$

### 3.3.6. Análisis mineralógico

El análisis mineralógico fue determinado utilizando la técnica de Difracción de rayos X. El fundamento de las técnicas de difracción se basa en la interacción de la estructura cristalina de un sólido con una fuente de rayos X, esta estructura cristalina está presente en muchos sólidos tanto naturales como artificiales y consiste en la repetición periódica de los átomos o moléculas que forman este sólido en las tres direcciones del espacio.

El análisis mineralógico se realizó en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Mayor de San Marcos, tomando en cuenta las siguientes condiciones de medición:

- El análisis se realizó en un Difractómetro marca BRUKER, modelo D8-FOCUS.
- Se empleó un tubo de Cu cuya longitud de onda, correspondiente a  $K\alpha_1$ -Cu, es  $\lambda=1.5406\text{\AA}$ .
- Rango angular de análisis ( $2\theta$ ):
  - Inicio:  $10^\circ$ .
  - Final:  $90^\circ$ .
  - Paso:  $0.02^\circ$ .
  - Tiempo por paso: 0.5 seg.
- Generador Rayos-X:
  - Voltaje de salida del tubo= 40 kV.
  - Corriente de salida del tubo = 40 mA.
- Tipo de detector: PSD Lynxeye

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Caracterización Físico-Química de los Horizontes de Diagnóstico

Las características físicas y químicas más importantes de los cuatros suelos en estudio, se muestran en los siguientes cuadros:

**Tabla 3: Características físicas y químicas del suelo 01**

CALICATA	PROF. (cm)	TEXTURA			CLASE TEXTURAL	COLOR	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA	pH	M.O.
		ARENA	LIMO	ARCILLA						
1	0-10	96,4	1,2	2,8	ARENA	10 YR 5/6	GRANULAR	MUY FRIABLE	3,47	2,24
	10-35	93,2	2,8	4,0	ARENA	10 YR 5/6	GRANO SIMPLE	SUELTA	3,87	0,87
	35-78	95,2	2,0	2,8	ARENA	10 YR 7/2	GRANO SIMPLE	SUELTA	4,53	0,67
	78-112	94,3	2,3	3,4	ARENA	10 YR 4/3	GRANO SIMPLE	SUELTA	4,30	0,41
	112-145	83,2	10,8	6,0	ARENA FRANCA	10 YR 2/1	CEMENTADO	EXTREM. FIRME	3,94	4,88

**Tabla 4: Características físicas y químicas del suelo 02**

CALICATA	PROF. (cm)	TEXTURA			CLASE TEXTURAL	COLOR	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA	pH	M.O.
		ARENA	LIMO	ARCILLA						
2	0-15	90,2	7,6	2,2	ARENA	10 YR 5/4	GRANULAR	MUY FRIABLE	4,60	0,48
	15-29	90,4	7,5	2,1	ARENA	10 YR 6/3	GRANO SIMPLE	SUELTA	4,65	0,46
	29-47	92,3	5,6	2,1	ARENA	10 YR 6/2	GRANO SIMPLE	SUELTA	4,71	0,25
	47-107	84,3	11,6	4,1	ARENA FRANCA	10 YR 4/4	MIGAJOSA	MUY FIRME	4,59	2,48

**Tabla 5: Características físicas y químicas del suelo 03**

CALICATA	PROF. (cm)	TEXTURA			CLASE TEXTURAL	COLOR	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA	pH	M.O.
		ARENA	LIMO	ARCILLA						
3	0-10	91,4	6,5	2,1	ARENA	10 YR 3/2	GRANULAR	MUY FRIABLE	4,00	1,60
	10-60	82,3	15,5	2,2	ARENA FRANCA	10 YR 7/1	GRANO SIMPLE	MUY FRIABLE	4,70	0,10
	40-120	78,2	17,6	4,2	ARENA FRANCA	10 YR 2/2	CEMENTADO	EXTREM. FIRME	3,44	7,20

**Tabla 6: Características físicas y químicas del suelo 04**

CALICATA	PROF. (cm)	TEXTURA			CLASE TEXTURAL	COLOR	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA	pH	M.O.
		ARENA	LIMO	ARCILLA						
4	0-10	83,3	13,5	3,2	ARENA FRANCA	10 YR 4/3	GRANULAR	MUY FRIABLE	4,10	1,29
	10-40	68,5	26,9	4,6	FRANCO ARENOSO	10 YR 7/1	GRANO SIMPLE	SUELTA	4,30	0,25
	40-130	90,3	7,6	2,1	ARENA	7.5 YR 2.5	CEMENTADO	EXTREM. FIRME	3,88	4,41

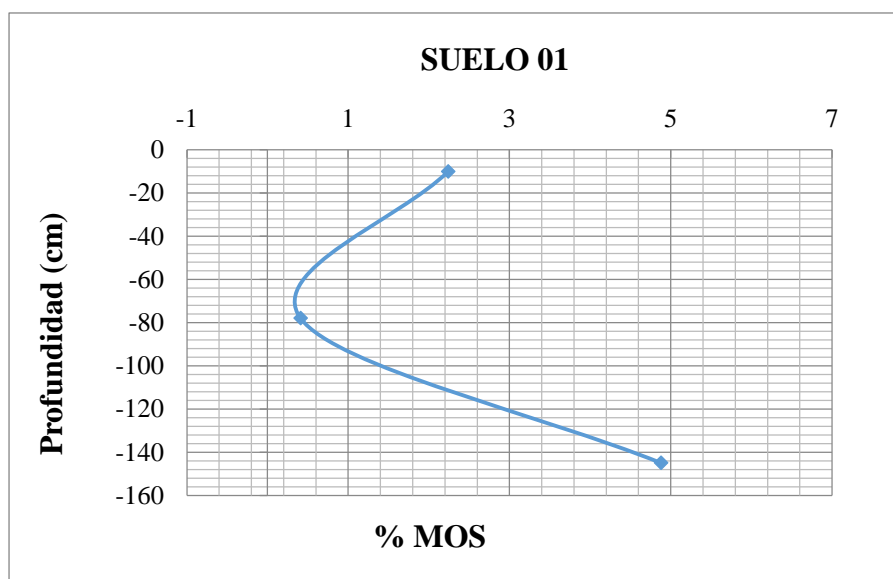
Las principales características físicas y químicas de los perfiles de suelo descritos, se puede observar en las Tablas 3 a 6. En cada perfil, se determinó la textura, el color, la estructura y la consistencia del suelo. También, se determinaron características químicas, tales como el pH, materia orgánica, cationes cambiabiles y capacidad de intercambio catiónico. En base a la descripción de campo y a la caracterización físico- química, los resultados indican la presencia de suelos con perfiles profundos, de texturas gruesas, con clases texturales desde Arena Franca hasta Arena. Suelos extremadamente ácidos en todo el perfil, con valores bajos en los horizontes subsuperficiales y contenidos variables de materia orgánica en los horizontes subsuperficiales.

El horizonte diagnóstico identificado, de gran importancia en todos los perfiles estudiados, era de naturaleza eluvial, blanco y cuyas características están basadas en el color de las partículas primarias de arena y limo, establecido en las Claves para la Taxonomía de Suelos, 2014. Este horizonte se encuentra sobreyaciendo al horizonte iluvial, definido por los valores de pH y los contenidos de carbón orgánico encontrados (Soil Survey Staff, 2014).

## 4.2. Identificación de los horizontes de diagnóstico

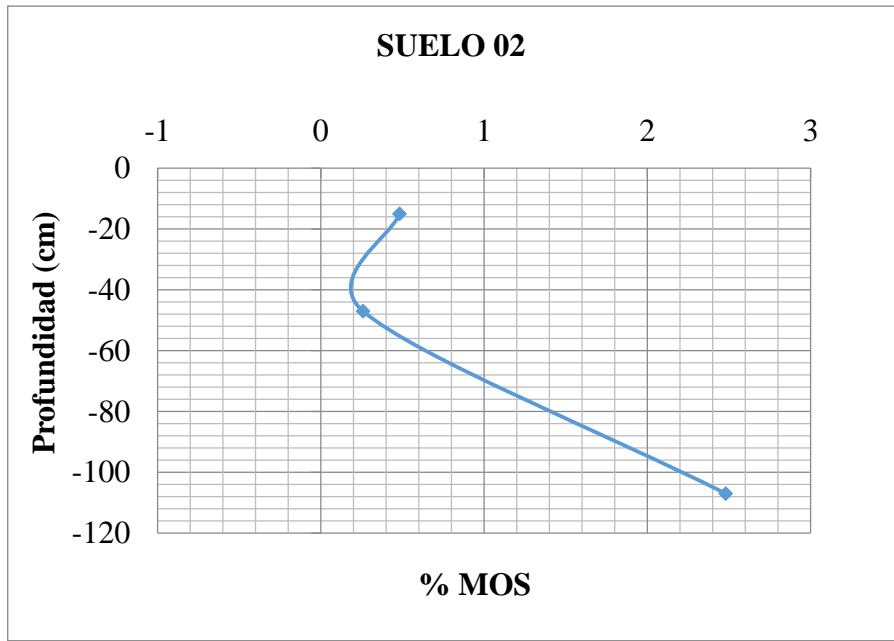
### 4.2.1. Contenido de Materia Orgánica de los horizontes de diagnóstico

La relación entre los contenidos de materia orgánica del suelo y la profundidad se representan en los siguientes gráficos:

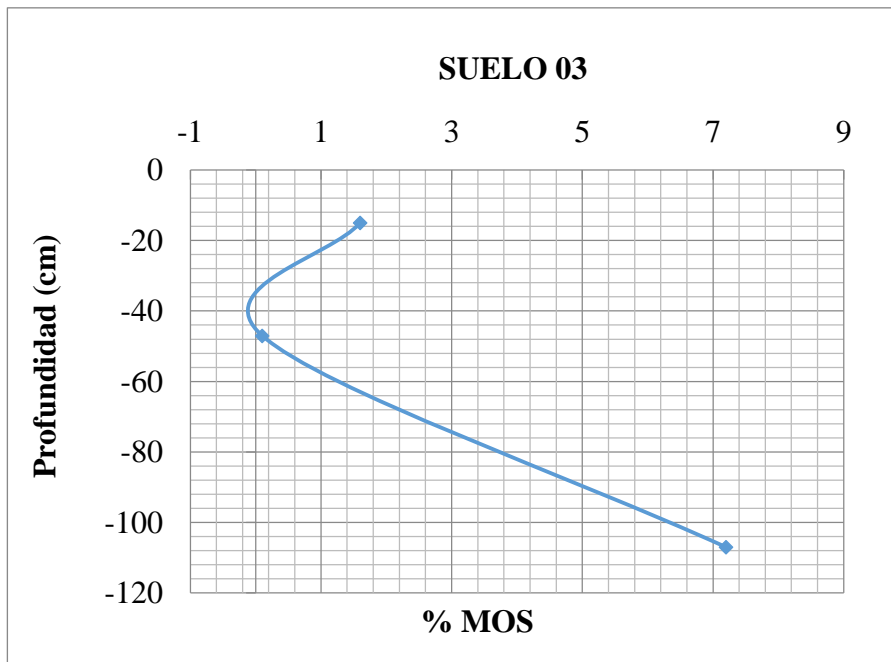


**Figura 6: Distribución de la Materia Orgánica en el perfil del suelo 01**

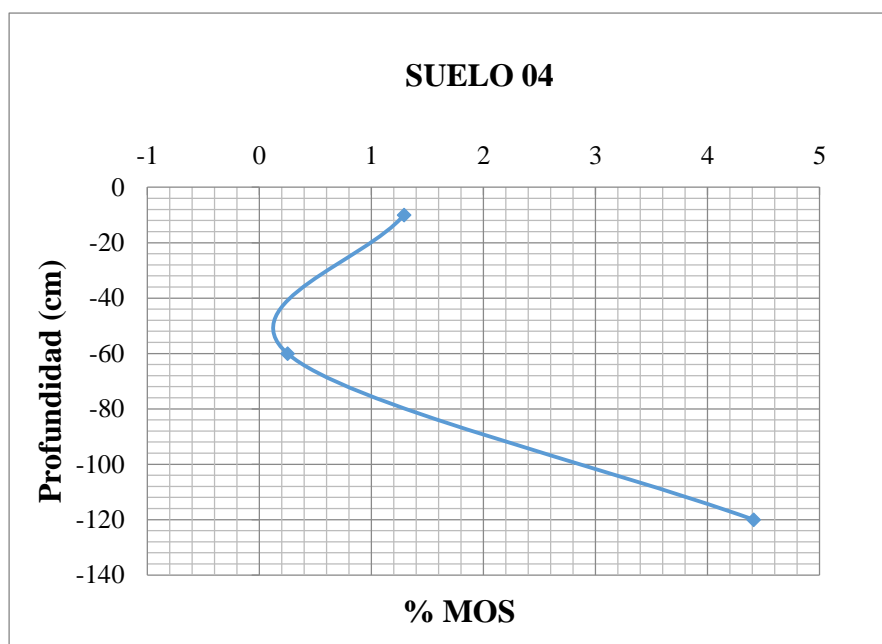




**Figura 7: Distribución de la Materia Orgánica en el perfil del suelo 02**



**Figura 8: Distribución de la Materia Orgánica en el perfil del suelo 03**



**Figura 9: Distribución de la Materia Orgánica en el perfil del suelo 04**

Las figuras 6 al 9, muestran los contenidos de materia orgánica del suelo en los perfiles descritos, éstos indican una tendencia a la pérdida y acumulación de materia orgánica a lo largo del perfil. Los horizontes subsuperficiales de mayor profundidad en el perfil de los suelos, denominados horizontes iluviales, evidencian acumulación, contrariamente sucede con los horizontes subsuperficiales de menor profundidad, de color blanco y de textura arenosa en el cual la tendencia es a una pérdida de materia orgánica. En consecuencia, todos los horizontes subsuperficiales, presentan pérdida y acumulación de materia orgánica en el perfil de los suelos de Zungarococha. El suelo que presentó una mayor acumulación de materia orgánica en el perfil, resultó el suelo 03, (fig. 8) el cual registró un mayor contenido de carbón orgánico, alcanzando el valor de 4,18 % equivalente a 7.2% de materia orgánica y el mínimo valor dentro de los horizontes iluviales, se registró en el suelo 02, (fig. 7) con un contenido de carbón orgánico de 1.44% equivalente a 2.48% de materia orgánica. Asimismo, el suelo que resultó con una mayor pérdida de materia orgánica, resultó el suelo 03, (fig. 8) con un contenido de 0.10% de materia orgánica encontrado en el horizonte eluvial. La distribución de materia orgánica en los perfiles estudiados, difieren del patrón normal del contenido de materia orgánica, decrece en forma regular al aumentar la profundidad en el perfil, Jaramillo (2011). El mismo autor también señala que se distorsiona el patrón de distribución normal de materia orgánica cuando el suelo tiene un horizonte

eluvial con menor contenido de materia orgánica, que el horizonte iluvial en el cual se está acumulando y que está subyaciendo al horizonte eluvial.

#### 4.2.2. Contenido de Óxidos de Hierro del Suelo

Los contenidos de óxidos de hierro libres en el suelo, se expresan en los siguientes gráficos:

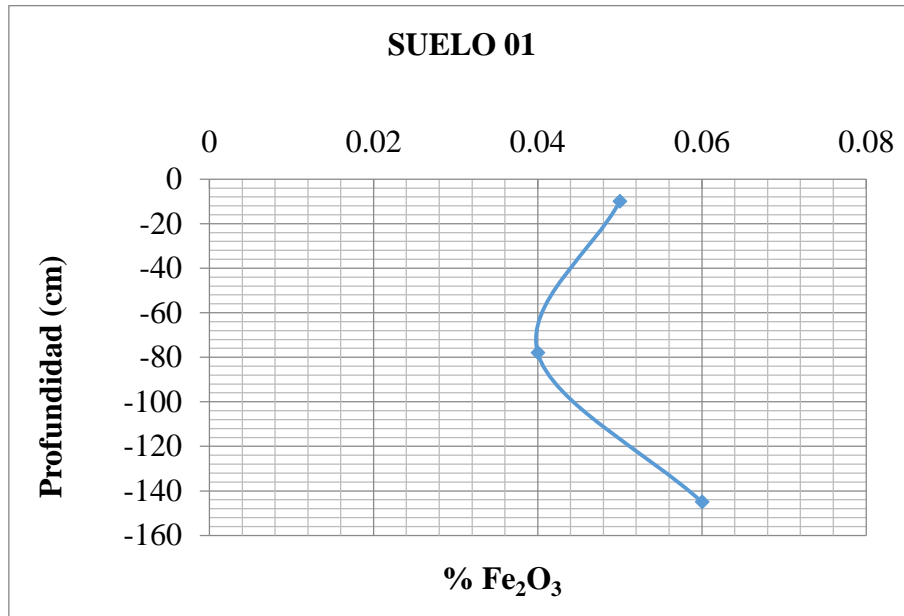


Figura 10: Distribución de óxidos de hierro libres en el perfil del Suelo 01

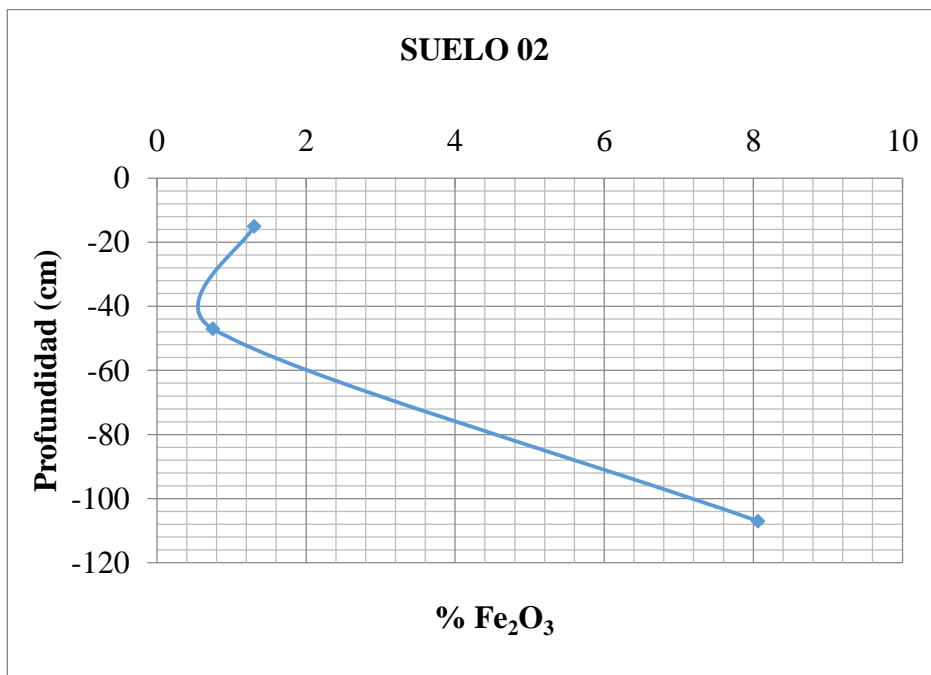
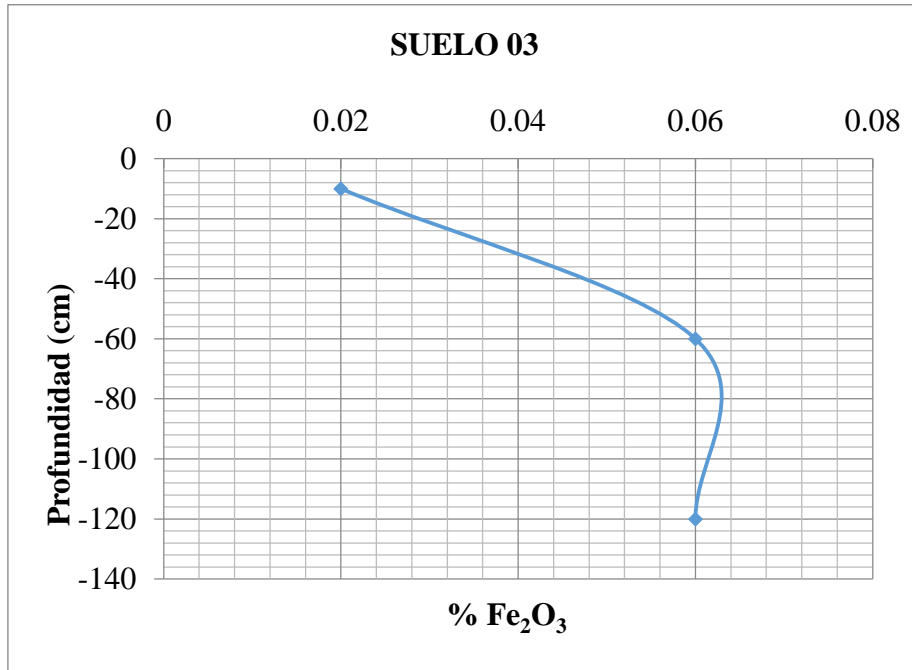
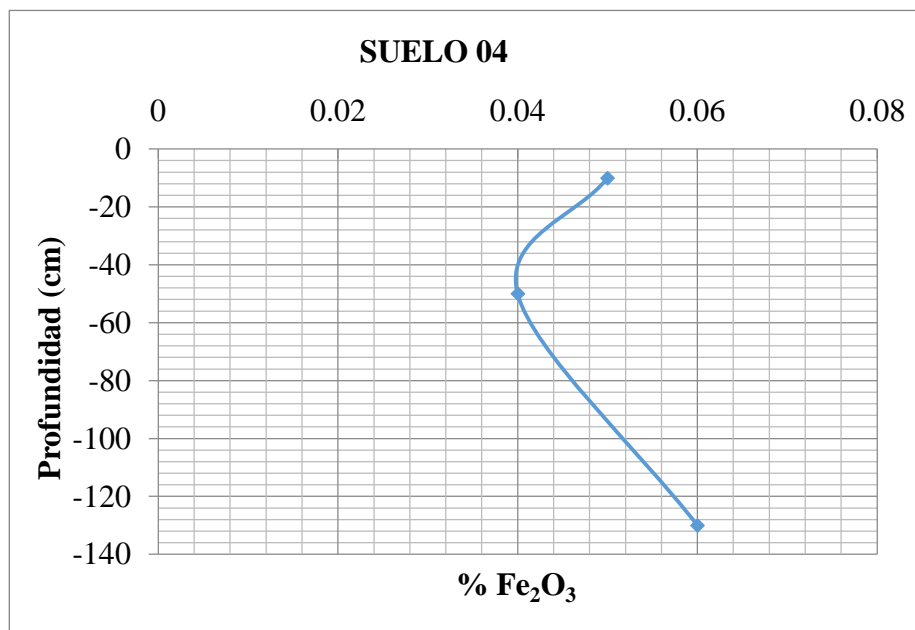


Figura 11: Distribución de óxidos de hierro libres en el perfil del Suelo 02



**Figura 12: Distribución de óxidos de hierro libres en el perfil del suelo 03**



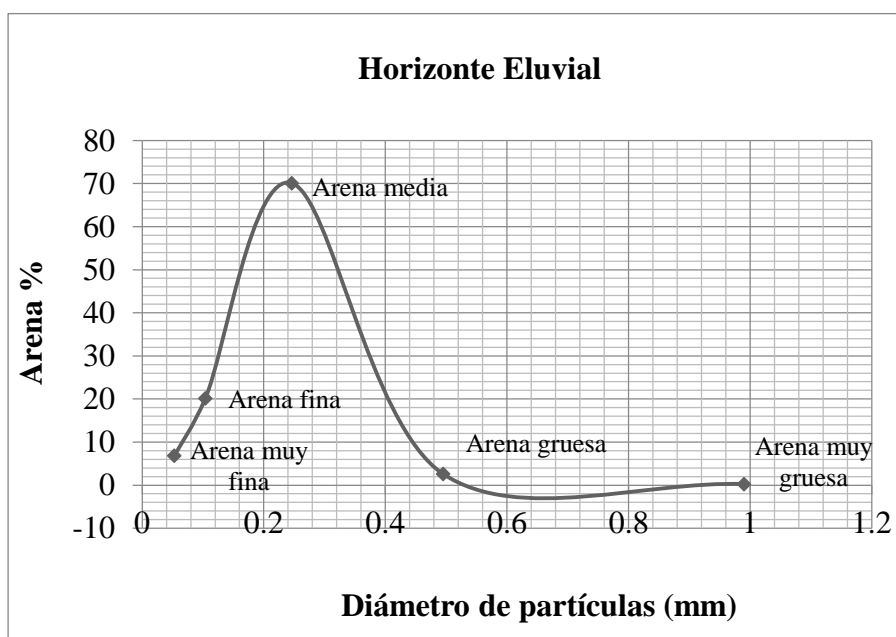
**Figura 13: Distribución de óxidos de hierro libres en el perfil del Suelo 04**

En general, el contenido de fierro libre encontrado en los perfiles de suelos de la zona de Zungarococha, es bajo, y muestra tendencia a disminuir en los horizontes subsuperficiales eluviales, a excepción del suelo 03, (fig. 12) en donde ocurre una acumulación de fierro. Por otro lado, en los horizontes subsuperficiales iluviales, se observa un aumento del contenido de fierro. El contenido de fierro de los horizontes iluviales obtuvo su máximo valor, únicamente en el horizonte iluvial del perfil 02, (fig. 11) en donde alcanzó un valor de 8.06% de óxido de fierro.

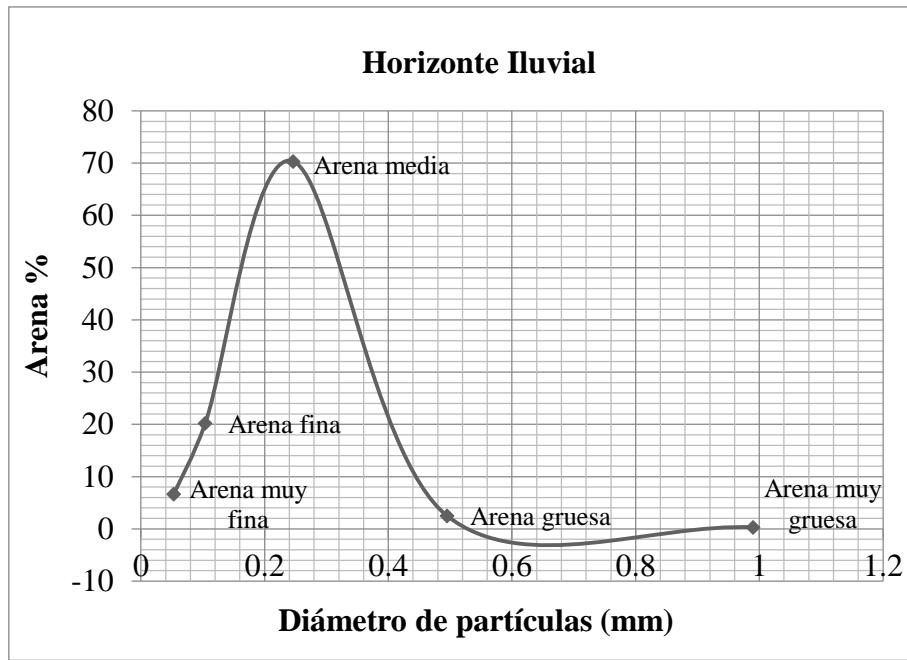
La acumulación de fierro en los horizontes iluviales es evidente, sin embargo, éste contenido se considera bajo, debido que los valores están por debajo del valor estimado por Lidsay (1979), quien menciona un contenido de fierro en el suelo, de 3.8%. El único suelo que supera este valor se encuentra en el perfil 02, (fig. 11). En general, los bajos contenidos de fierro libres encontrados en estos suelos tienen similitud con los encontrados por Flores (1977), descritos en un estudio sobre las características de algunos suelos del trópico húmedo peruano, por lo que se consideraría como una característica típica de los spodosols tropicales.

#### 4.2.3. Análisis de Tamaño de Arenas

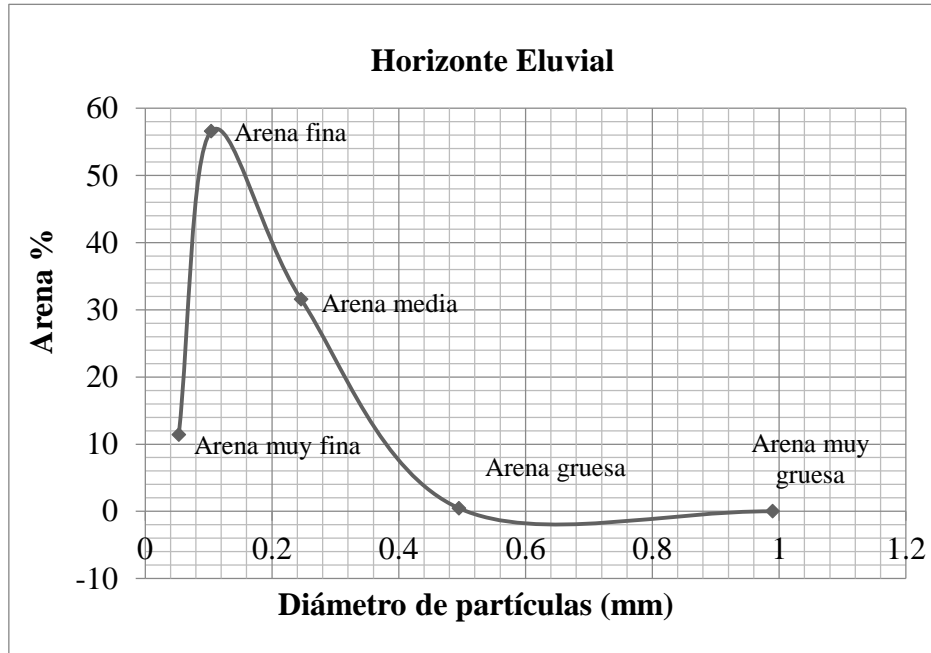
A continuación se presenta el análisis granulométrico de las arenas mediante los siguientes gráficos:



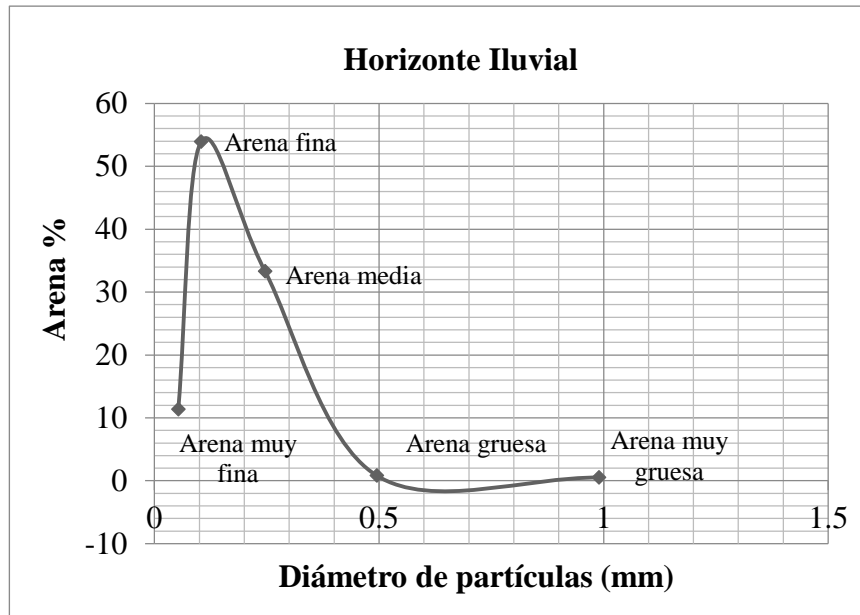
**Figura 14: Granulometría del horizonte Eluvial del Suelo 01**



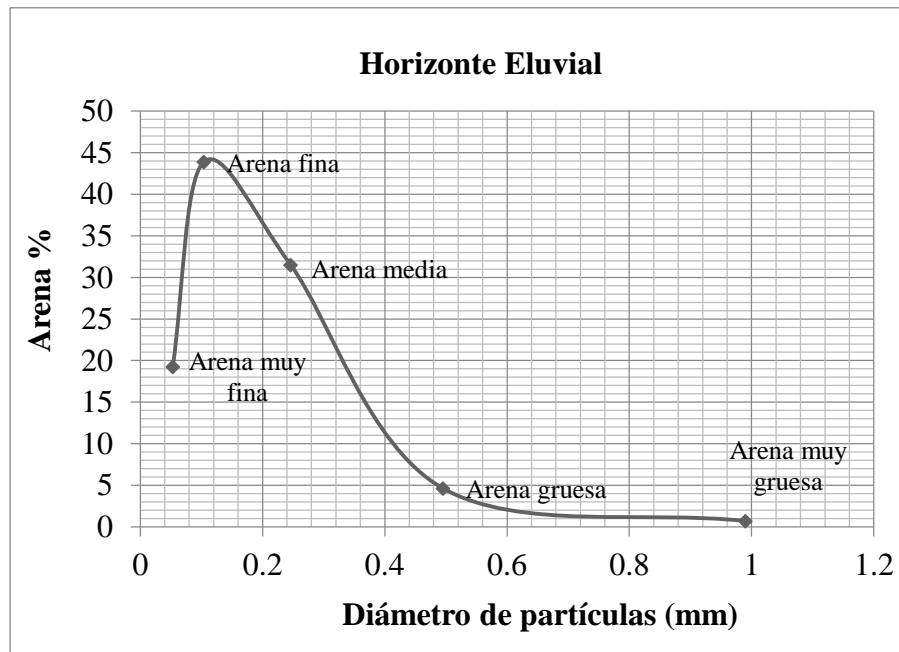
**Figura 15: Granulometría del horizonte Iluvial del Suelo 01**



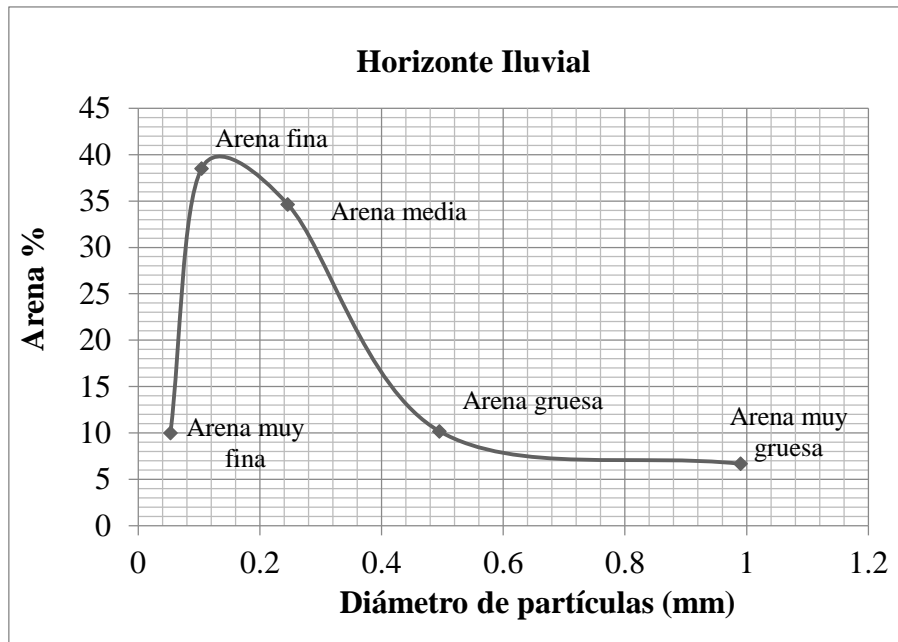
**Figura 16: Análisis granulométrico del horizonte Eluvial del Suelo 02**



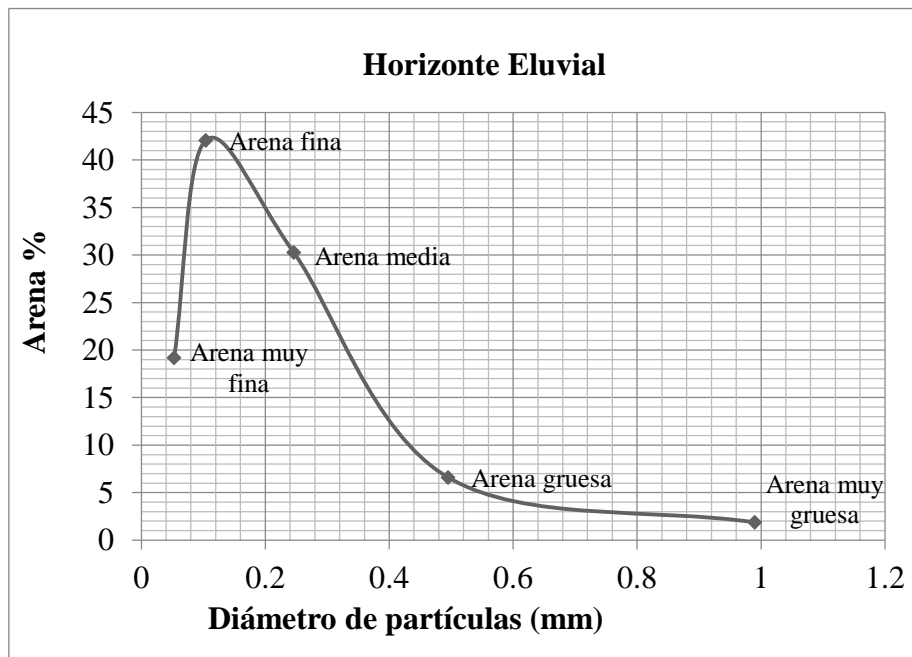
**Figura 17: Análisis granulométrico del horizonte Iluvial del Suelo 02**



**Figura 18: Análisis granulométrico del horizonte Eluvial del Suelo 03**

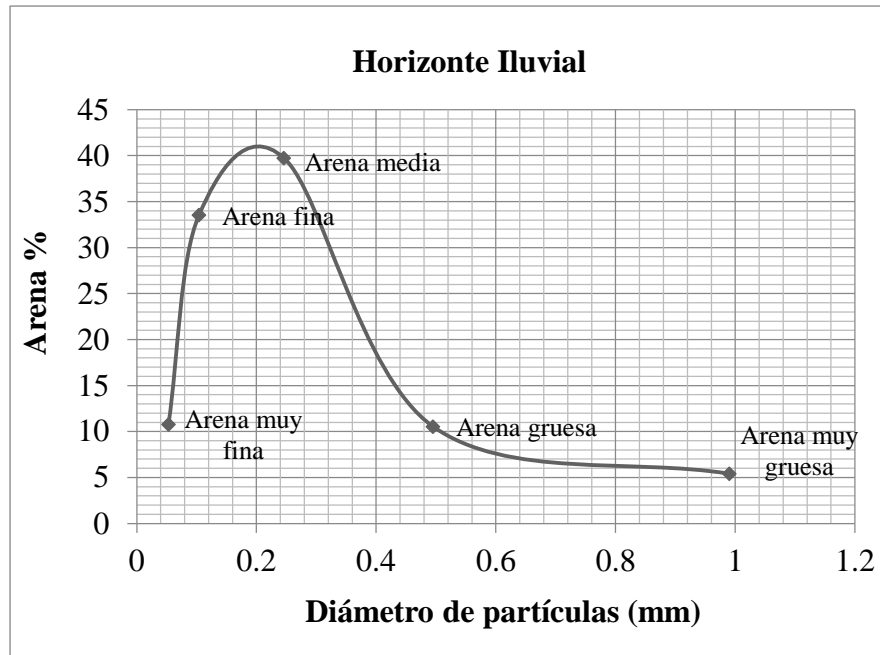


**Figura 19: Análisis granulométrico del horizonte Iluvial del Suelo 03**



**Figura 20: Análisis granulométrico del horizonte Eluvial del Suelo 04**





**Figura 21: Análisis granulométrico del horizonte Iluvial del suelo 04**

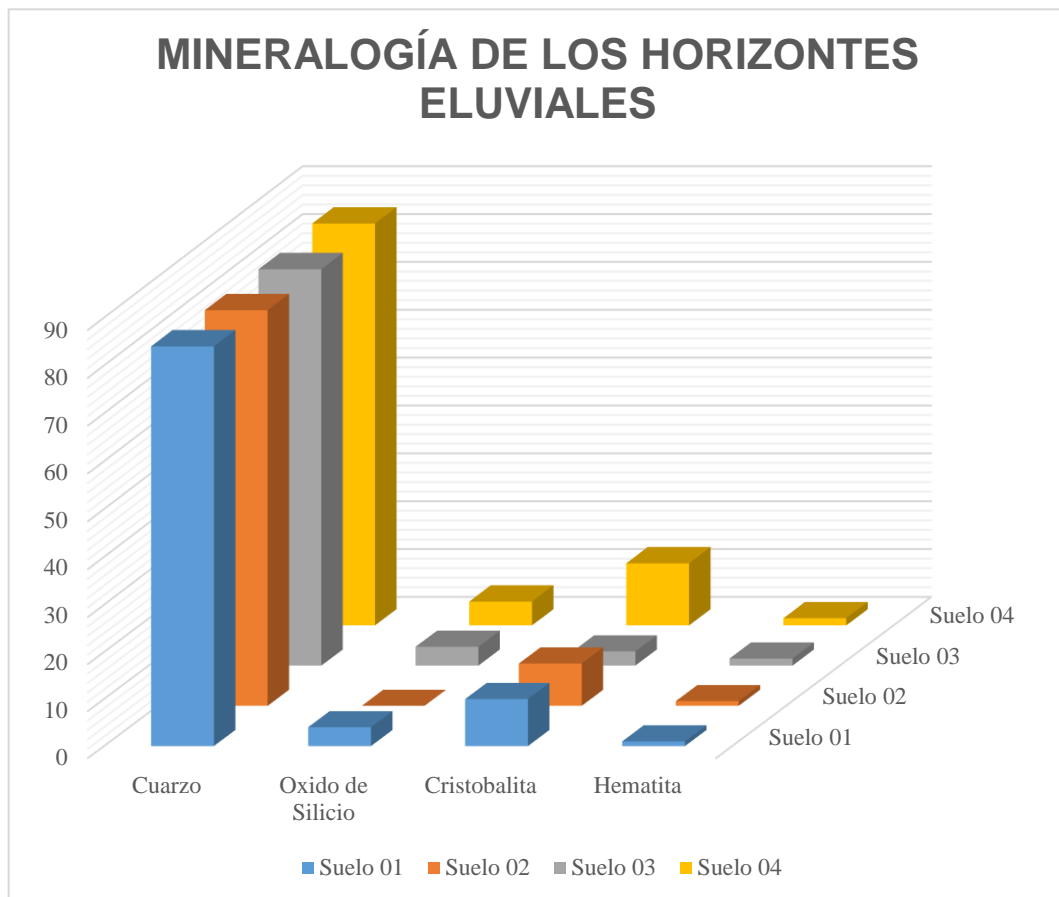
El tamaño de las arenas presentes en los horizontes subsuperficiales del suelo, se realizó considerando la naturaleza del material parental de los mismos, los cuales se encontraron distribuidas en los diferentes horizontes subsuperficiales del perfil del suelo y fueron clasificadas, según el tamaño de partículas de la arena, establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). La distribución de las arenas en los horizontes indicados fue cuantificada según su tamaño, resultando que las partículas de arena media y fina, fueron dominantes en los horizontes subsuperficiales. En el suelo 01, (figs. 14 y 15) las partículas de arena media resultó ser la dominante, mientras que en los demás suelos, la clase de arena fina fue la más representativa. El tamaño de las partículas de arena, estaría relacionada con la alta permeabilidad del horizonte subsuperficial de carácter eluvial. En relación a este tema, Kalliola et al. (1998) en un estudio de suelos realizado en la zona de Iquitos, relacionaron el tamaño de las partículas de arena, con el grupo de suelos de arenas blancas fuertemente lixiviadas, encontradas al sur oeste de Iquitos, indicando que, las partículas de arena de éste grupo de suelos, estaban constituidas predominantemente por partículas de arena fina, presentando un diámetro de 0.1 a 0.5 mm.

#### 4.2.4. Mineralogía de los horizontes

La mineralogía de los horizontes de cada suelo estudiado, se muestran en las tablas 7 y 8 y en las figuras 22 y 23:

**Tabla 7: Mineralogía del Horizonte Eluvial del Suelo**

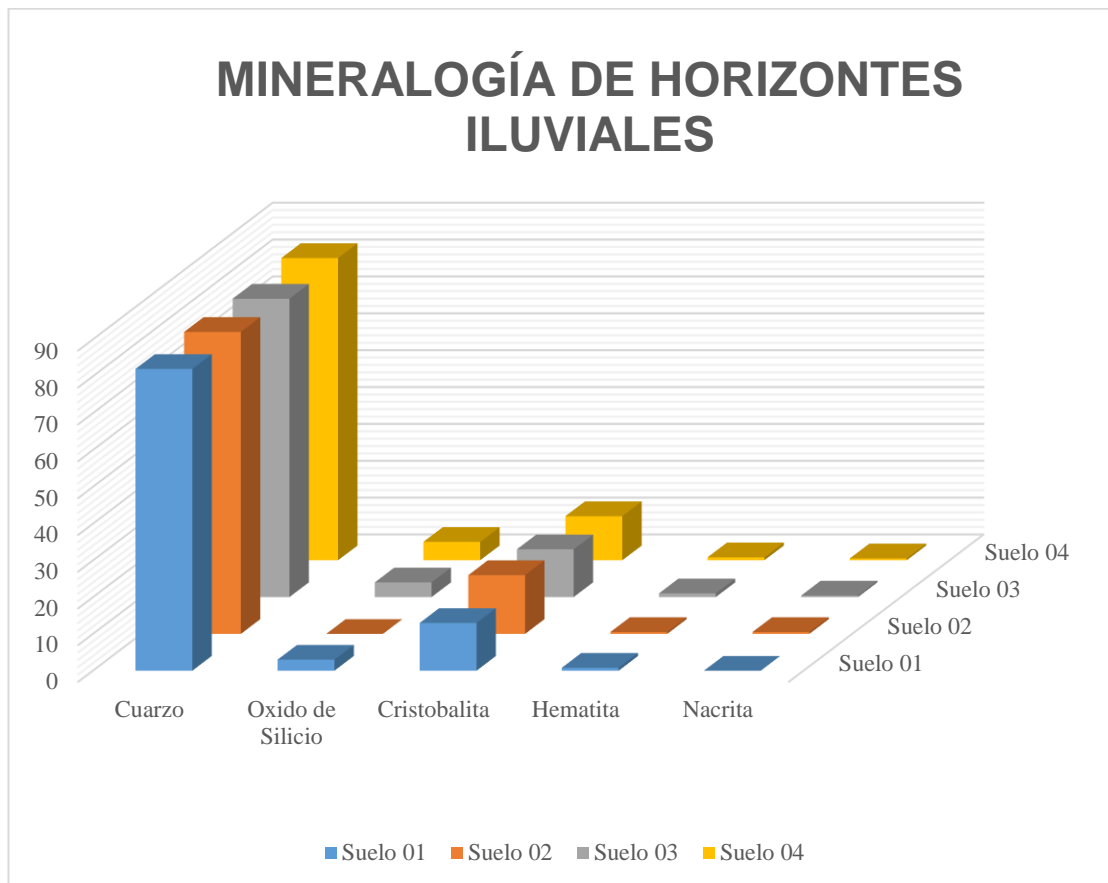
Fase Mineral	Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Suelo 4
Cuarzo	94	93	93	94
Óxido de Silicio	1	0	2	1
Cristobalita	2	4	1.5	2
Hematita	0.5	1	1	1



**Figura 22: Distribución Mineralógica en los Horizontes Eluviales del Suelo**

**Tabla 8: Mineralogía del Horizonte Iluvial del Suelo**

Fase Mineral	Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Suelo 4
Cuarzo	92	92	91	92
Óxido de Silicio	2	0	2	2
Cristobalita	4	6	5	4
Hematita	0.8	0.5	1	0.8
Nacrita	0	0.5	0.4	0.5



**Figura 23: Distribución Mineralógica en los Horizontes Iluviales del Suelo**

La distribución mineralógica en los horizontes subsuperficiales del suelo en estudio, indica, la presencia de Cuarzo, Óxido de Silicio, Cristobalita, Hematita y Nacrita.

La especie mineralógica dominante en el suelo, resultó ser el Cuarzo, representados hasta en un 94% en los horizontes subsuperficiales, en tanto las especies mineralógicas de Óxidos de Silicio y Cristobalita, presentaron mínimos porcentajes y además, se encontraron trazas de Hematita y Nacrita. Los horizontes subsuperficiales de carácter eluvial, (fig. 22) tuvieron la

ausencia de Nacrita en todos los perfiles descritos, encontrándose ésta especie mineralógica, únicamente en los horizontes subsuperficiales de carácter iluvial, (fig. 23). Estos resultados, tienen gran similitud en cuanto al contenido de la especie mineralógica dominante, mencionado por Rasanen et al (1998), quienes reportan que el cuarzo es la especie mineralógica dominante en las arenas, siendo el cuarzo el mineral más resistente a la meteorización, y además, es el mineral principal de la unidad geológica denominada unidad arenitas de Iquitos. Las arenitas cuarzosas se habrían originado como tales, o podrían ser el resultado de una fuerte podsolización.

#### **4.3. Clasificación Taxonómica del Suelo**

Los suelos en estudio fueron clasificados, basados en el sistema de clasificación Soil Taxonomy (2014).

A continuación se presentan los pedones que fueron estudiados para su clasificación taxonómica:

## DESCRIPCION DEL PERFIL MODAL DEL SUELO 01

PROYECTO	Tesis
CALICATA	Suelo 01
FECHA	06-10-2014
LOCALIDAD	Zungarococha
LOCALIZACION GEOGRAFICA	UTM 0681051      9573226
VEGETACION O CULTIVO	Bosque Secundario
MATERIAL MADRE	Aluvial muy Antiguo
LITOLOGIA	Arenas cuarzíticas
FISIOGRAFIA	Terraza Media
RELIEVE	Plano
DRENAJE	Algo excesivo
PENDIENTE	2%
EROSION	Leve
ALTITUD	119 msnm
DESCRITO POR	Ranulfo Meléndez Celis

<b>Horizonte</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Descripción</b>
<b>A</b>	<b>0-10</b>	Arenoso, color en húmedo pardo grisáceo oscuro (10 YR 5/6) grano simple, suelto, reacción extremadamente ácido (pH: 3.6), raíces finas abundantes, contenido bajo de materia orgánica (2.24%) y límite de horizonte claro, suave. Las raíces están distribuidas en todo el horizonte entre finas, medias y gruesas en un 80%.
<b>AE</b>	<b>10-35</b>	Arenoso, color en húmedo pardo grisáceo oscuro (10 YR 5/6) grano simple, suelto, reacción extremadamente ácido (pH: 3.74), raíces finas escasas, contenido bajo de materia orgánica (0.87%) y límite de horizonte claro, suave.
<b>E</b>	<b>35-78</b>	Arenoso, color en húmedo gris claro (10 YR 7/2) grano simple, suelto, reacción extremadamente ácido (pH: 4.0), raíces finas escasas, contenido bajo de materia orgánica (0.67%) y límite de horizonte claro, suave.
<b>EB</b>	<b>78-112</b>	Arenoso, color en húmedo pardo (10 YR 4/3) grano simple, suelto, reacción muy fuertemente ácido (pH: 4.6), contenido bajo de materia orgánica (0.41%) y límite de horizonte claro, ondulado.
<b>Bh</b>	<b>112-145</b>	Arenoso, color en húmedo negro (10 YR 2/1) horizonte cementado, extremadamente firme, reacción extremadamente ácido (pH: 4.4), contenido bajo de materia orgánica (4.88%) permeabilidad muy lenta y límite de horizonte abrupto, ondulado.
<b>Bhs</b>	<b>145-165</b>	Arenoso, color en húmedo pardo oscuro (10 YR 3/3) grano simple, suelto, reacción muy fuertemente ácido (pH: 5.0), contenido bajo de materia orgánica (4.80%) y límite de horizonte abrupto, ondulado.

## PEDÓN DEL SUELO 01 Y SUS CATEGORÍAS TAXONÓMICAS:



Orden: Spodosols

Sub orden: Orthods

Gran grupo: Alorthods

Sub grupo: Arenic alorthods

Familia: Sandy, silicoso, orstein, isohipertérmico

Serie: King Kong



## DESCRIPCIÓN DEL PERFIL MODAL DEL SUELO 02

PROYECTO	Tesis
CALICATA	02
FECHA	06-10-2014
LOCALIDAD	Zungarococha
LOCALIZACION GEOGRAFICA	UTM 0679376 9573226
VEGETACION O CULTIVO	Bosque Secundario
MATERIAL MADRE	Aluvial muy Antiguo
LITOLOGIA	Arenas cuarzíticas
FISIOGRAFIA	Terraza Media
RELIEVE	Plano
DRENAJE	Algo excesivo
PENDIENTE	2%
EROSION	Leve
ALTITUD	119 msnm
DESCRITO POR	Ranulfo Meléndez Celis



<b>Horizonte</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Descripción</b>
<b>Ap</b>	<b>0-15</b>	Arenoso, color en húmedo pardo amarillento (10 YR 5/4) grano simple, suelto, raíces finas abundantes, contenido bajo de materia orgánica (0.48%) y límite de horizonte claro, suave. Las raíces están distribuidas en todo el horizonte entre finas, medias y gruesas en un 80%.
<b>AE</b>	<b>15-29</b>	Arenoso, color en húmedo pardo claro (10 YR 6/3) grano simple, suelto, raíces finas escasas, contenido bajo de materia orgánica (0.46) y límite de horizonte claro, suave.
<b>E</b>	<b>29-47</b>	Arenoso, color en húmedo pardo grisáceo claro (10 YR 6/2) grano simple, suelto, raíces finas escasas, contenido bajo de materia orgánica (0.25) y límite de horizonte claro, suave.
<b>B</b>	<b>47-107</b>	Arenoso, color en húmedo pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) extremadamente firme, masivo, contenido alto de materia orgánica (2.48) y límite de horizonte abrupto, ondulado.

## PEDÓN DEL SUELO 02 Y SUS CATEGORÍAS TAXONÓMICAS:



Orden: Spodosols

Sub orden: Orthods

Gran Grupo: Haplorthods

Sub grupo: Typic Haplorthods

Familia: Sandy, silicoso, isohipertérmico

Serie: Nina Rumi



### DESCRIPCIÓN DEL PERFIL MODAL DEL SUELO 03

PROYECTO	Tesis
CALICATA	Suelo 03
FECHA	03-02-2015
LOCALIDAD	Zungarococha
LOCALIZACION GEOGRAFICA	UTM 0678540      9572638
VEGETACION O CULTIVO	Bosque Secundario
MATERIAL MADRE	Aluvial muy Antiguo
LITOLOGIA	Arenas cuarzíticas
FISIOGRAFIA	Terraza Media
RELIEVE	Plano
DRENAJE	Algo excesivo
PENDIENTE	2.8%
EROSION	Leve
ALTITUD	116 msnm
DESCRITO POR	Ranulfo Meléndez Celis

<b>Horizonte</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Descripción</b>
<b>A</b>	<b>0-10</b>	Arenoso, color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) grano simple, suelto, reacción extremadamente ácido (pH: 4.0), raíces finas abundantes, contenido bajo de materia orgánica (1.6%) y límite de horizonte claro, suave. Las raíces están distribuidas en todo el horizonte entre finas, medias y gruesas en un 80%.
<b>E</b>	<b>10-60</b>	Arenoso, color en húmedo gris claro (10 YR 7/1) grano simple, suelto, reacción extremadamente ácido (pH: 4.70), raíces finas escasas, contenido bajo de materia orgánica (0.1%) y límite de horizonte claro, suave.
<b>Bh</b>	<b>60-120</b>	Arenoso, color en húmedo pardo muy oscuro (10 YR 2/2) masivo, extremadamente firme, reacción muy fuertemente ácido (pH: 3.44), contenido alto de materia orgánica (7.2%) horizonte cementado y límite de horizonte abrupto, ondulado.



## PEDÓN DEL SUELO 03 Y SUS CARACTERÍSTICAS TAXONÓMICAS:



Orden: Spodosols

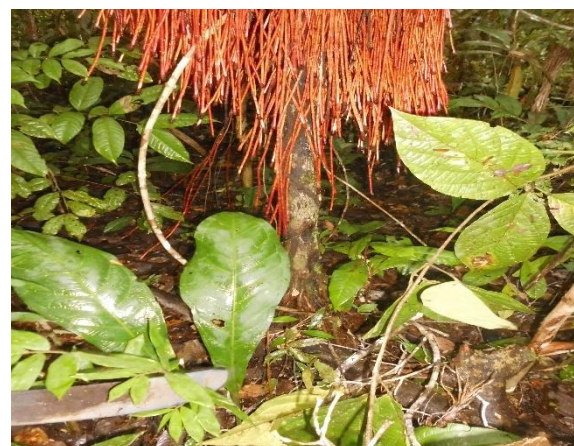
Suborden: Orthods

Gran grupo: Durorthods

Subgrupo: Typic Durorthods

Familia: Sandy, silicoso, orstein, isohipertérmico

Serie: Dos de Mayo



## DESCRIPCIÓN DEL PERFIL MODAL DEL SUELO 04

PROYECTO	Tesis
CALICATA	Suelo 04
FECHA	07-02-2015
LOCALIDAD	Zungarococha
LOCALIZACION GEOGRAFICA	UTM 0677872 9572378
VEGETACION O CULTIVO	Bosque Secundario
MATERIAL MADRE	Aluvial muy Antiguo
LITOLOGIA	Arenas cuarzíticas
FISIOGRAFIA	Terraza Media
RELIEVE	Plano
DRENAJE	Algo excesivo
PENDIENTE	1.2%
EROSION	Leve
ALTITUD	108 msnm
DESCRITO POR	Ranulfo Meléndez Celis

<b>Horizonte</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Descripción</b>
<b>A</b>	<b>0-10</b>	Arena franca, color en húmedo pardo (10 YR 4/3) grano simple, suelto, reacción extremadamente ácido (pH: 4.1), raíces finas abundantes, contenido bajo de materia orgánica (1.29%) y límite de horizonte claro, suave. Las raíces están distribuidas en todo el horizonte entre finas, medias y gruesas en un 70%.
<b>E</b>	<b>10-40</b>	Franco arenoso, color en húmedo gris claro (10 YR 7/1) grano simple, suelto, reacción extremadamente ácido (pH: 0.25), raíces finas escasas, contenido bajo de materia orgánica (0.25%) y límite de horizonte claro, suave.
<b>Bh</b>	<b>40-130</b>	Arenoso, color en húmedo pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/1) masivo, extremadamente firme, reacción muy fuertemente ácida (pH: 3.44), contenido alto de materia orgánica (4.41%) y límite de horizonte abrupto, ondulado.



## PEDÓN DEL SUELO 04 Y SUS CARACTERÍSTICAS TAXONÓMICAS:



Orden: Spodosols

Suborden: Orthods

Gran Grupo: Durorthods

Subgrupo: Typic Durorthods

Familia: Sandy, silicoso, orstein, isohipertérmico

Serie: Llanchama





La clasificación de los suelos se realizó usando las claves del sistema Soil Taxonomy 2014, para este propósito se utilizó los resultados de la caracterización física de campo y las determinaciones químicas realizadas en el Laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina y el Laboratorio de Difractometría de Rayos X, de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Mayor de San Marcos, (Anexo 17-20). El resultado de sistematizar la información de campo y de laboratorio, permitieron identificar los horizontes de diagnóstico superficiales y subsuperficiales. Los horizontes superficiales o epipedones encontrados en todos los suelos fueron los epipedones ochricos y los horizontes de diagnóstico subsuperficiales fueron los horizontes álbicos y espódicos. Las determinaciones de campo más importantes que han sido utilizadas para este fin, fueron el color de los horizontes diagnóstico, cuyos parámetros de value y chroma encontrados en el suelo, determinaron la presencia de materiales de colores que tuvieron valores de chroma 2 y menores de 2, característicos del horizonte E, denominado albico y de materiales iluviales que estuvieron compuestos por materia orgánica y óxidos de hierro, característicos del horizonte B, denominado espódico. Las texturas arenosas del suelo, el bajo contenido de carbón orgánico en el horizonte E y alto en el horizonte B, así como los contenidos de hierro libres y la mineralogía de las arenas, constituidas predominantemente por cuarzo, fueron determinantes para clasificarlos a nivel de Orden en Spodosols a todos los suelos, afirmándose la existencia de Spodosols procedentes de sedimentos arenosos en esta zona del trópico húmedo peruano.

A nivel de suborden, todos los suelos fueron Orthods, de Gran grupo fueron Durorthods, de Subgrupo Typic Durorthods, para el suelo 03 y 04, Typic Alorthods en el suelo 01 y Typic Haplorthods en el suelo 02.

Las familias taxonómicas encontradas, corresponden a Sandy, silicoso, orstein, isohipertérmico en el suelo 01, 03 y 04, además se encontró la familia Sandy, silicoso, isohipertérmico en el suelo 02.

## V. CONCLUSIONES

1. Las características físico-químicas determinadas en los horizontes de diagnóstico de los suelos estudiados, fueron contrastantes en el color, estructura, consistencia, pH, y en los contenidos de arena y materia orgánica.
2. La distribución en el perfil del suelo del contenido de materia orgánica, mostró una tendencia a la acumulación en el horizonte B spodic y a una pérdida de materia orgánica en el horizonte E albic.
3. Los contenidos bajos de óxidos de hierro libre encontrados en los horizontes de diagnóstico, es una característica común en la mayoría de los suelos en estudio, presentando una leve acumulación en el horizonte espódico.
4. La granulometría de las arenas de los horizontes álbic y espódico, presentaron dominancia en el diámetro de las partículas correspondientes al tamaño de las partículas de arena fina.
5. En base a la descripción de los perfiles y a la caracterización físico-química de los suelos, se identificaron los horizontes de diagnóstico álbic, sobreyaciendo al horizonte de diagnóstico spodic.
6. Los suelos clasificados taxonómicamente, según el Soil Taxonomy (2014) correspondieron en su totalidad al Orden Spodosols, encontrándose diferencias a nivel de gran grupo, sub grupo, familia y serie.
7. Edafogenéticamente, la Podsolización, ha sido el proceso de formación dominante en los suelos en estudio.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones que se consideran para el siguiente trabajo, son los siguientes:

- Realizar estudios muy detallados de suelos en otras áreas donde se encuentran suelos procedentes de sedimentos arenosos de la zona de Iquitos para establecer la distribución de Spodosols en estos afloramientos arenosos.
- Relacionar en un estudio integral las características de los suelos procedentes de sedimentos arenosos con las formaciones vegetales de gran interés ecológico.
- Caracterizar los suelos de la zona de amortiguamiento de las áreas de sedimentos arenosos de Iquitos para identificar la variabilidad transicional de estos suelos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**BRADY, N. C. and WEILL N. R. 2007.** The Nature and Properties of soil. 14<sup>th</sup> Edition. Upper Saddle River. New Jersey. Columbus, Ohio. USA. 77p.

**BUOL, R.S.; SOUTHARD, R.C.; GRAHAM, P.A.; Mc DANIEL. 2003.** Soil Genesis and Classification. Fifth Edition, Iowa State Press. A Blackwell Publishing Company All Rights Reserved. 494 p.

**BURING, P. 1970.** Introduction to the study of the soils in Tropical and Subtropical Regions. Center for Agric. Pub, and Dic., Wagenigen. The Netherlands, 99 p.

**ENCARNACION, F. 1993.** El bosque y las formaciones vegetales en la llanura amazónica del Perú. Alma Mater 6:95-114.

**FASSBENDER, H. 1987.** Química de Suelos, con énfasis en América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Cuarta Edición. San José-Costa Rica. 420 p.

**FLORES, S. 1977.** Caracterización y Clasificación de Algunos Suelos del Bosque Amazónico Peruano, Iquitos. Universidad de Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. 95 p.

**HENRIQUEZ, C. y CABALCETA, G. 1999.** Guía Práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Editado por la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José-Costa Rica. 145-15 p.

**JARAMILLO, D. 2001.** Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Escuela de Geociencias. Medellín.

- KALLIOLA, R.; FLORES, S. 1998.** Geoecología y Desarrollo Amazónico. Primera Edición. Edit. Turun Yliopisto. Turku-Finlandia. 519pp.
- KOUSKY, V. E. 1988.** Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South America sector. *Revista Brasileira de Meteorologia* **3**, 217–231.
- INIPA, 1984.** Estudio preliminar de la distribución de suelos de la Amazonía Peruana. Proyecto Suelos Tropicales de la Universidad Estatal de Carolina del Norte. Documento Técnico N° 4. 23 p.
- KAUFFMAN, S. PAREDES, G. MARQUINA, R. 1998.** Suelos de la Zona de Iquitos. Editado por Kalliola y S. Flores Paitan. Turun Yliopisto. Turku-Finlandia. 162-175 p.
- LINDSAY, W. 1979.** Chemical Equilibria in Soils. Publisher, Wiley. Original from, the University of Michigan.
- LUZIO, W. 1982.** Taxonomía de Suelos. Un sistema básico de clasificación de suelos para hacer e interpretar reconocimiento de suelos. Soil Survey Staff. Editado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 16-17p.
- MARENGO, J. 1998.** Climatología de la zona de Iquitos. Editado por Kalliola y S. Flores Paitan. Turun Yliopisto. Turku-Finlandia.35-57 p.
- PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. 2003.** Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Tercera Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 26-28p.
- PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M. y POCH, R. 2014.** Edafología: Uso y Protección de Suelos. Tercera Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 608 p.
- RASANEN, P.; ROUKOLAINEN, K. y TUOMISTO, H. 1998.** Geología de la Zona de Iquitos. . Editado por R. Kalliola y S. Flores Paitan. Turun Yliopisto. Turku-Finlandia. 254-255 p.

**SANCHEZ, P. 1981.** Suelos del Trópico: Características y Manejo. IICA. San José-Costa Rica. 302-310p.

**SICS-ISRIC-FAO, 1999.** Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Editado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma-Italia. 80pp.

**SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993.** Soil Survey Manual USA. Department of Agriculture. Handbook 18. 432pp.

**SOIL SURVEY STAFF, 2014.** Keys to Soil Taxonomy. USA. Department of Agriculture. Twelfth Edition. 342 pp.

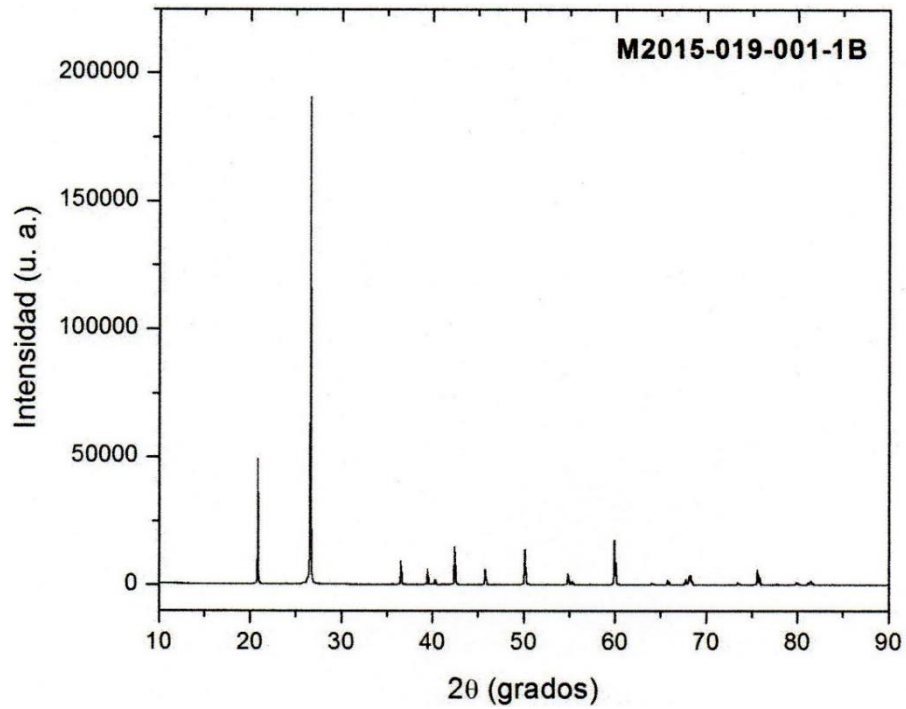
**THOMPSON, L. y TROEH, F. 1988.** Los Suelos y su Fertilidad. Cuarta Edición. Editorial Reverté. España. 639 p.

**VEILLON, L.; SORIA-SORIANO, B. 1988.** Transition sol ferrallitique-podzol: Cas d'une terrasse sédimentaire de l'Ucayali (Perou). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol. XXIV, n° 2: 97-113.

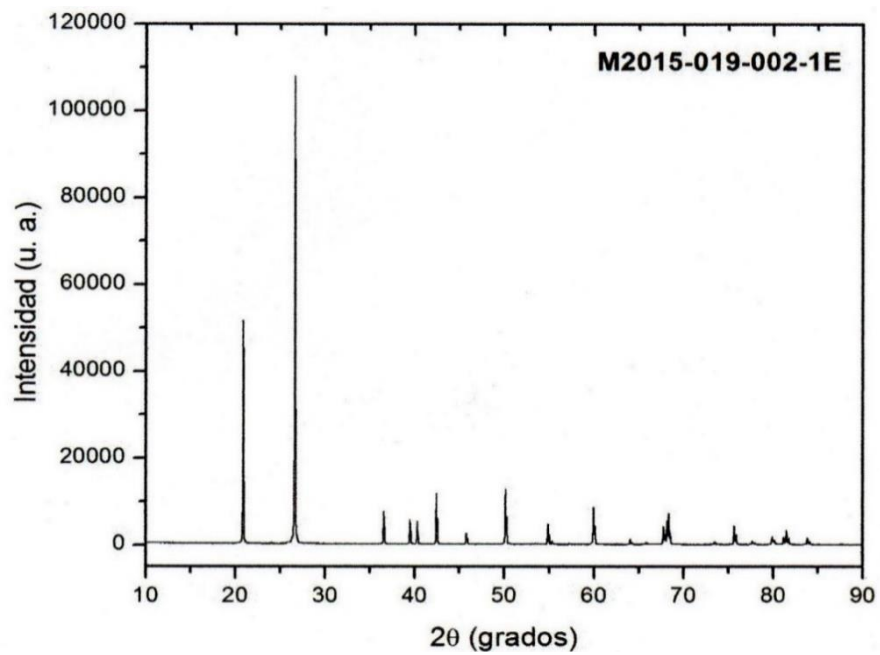
**ZAMORA, C. 1973.** Los suelos de las tierras bajas del Perú. Dirección de Estudios Integrados de Recursos Naturales. Lima-Perú. 25 p.

## ANEXOS

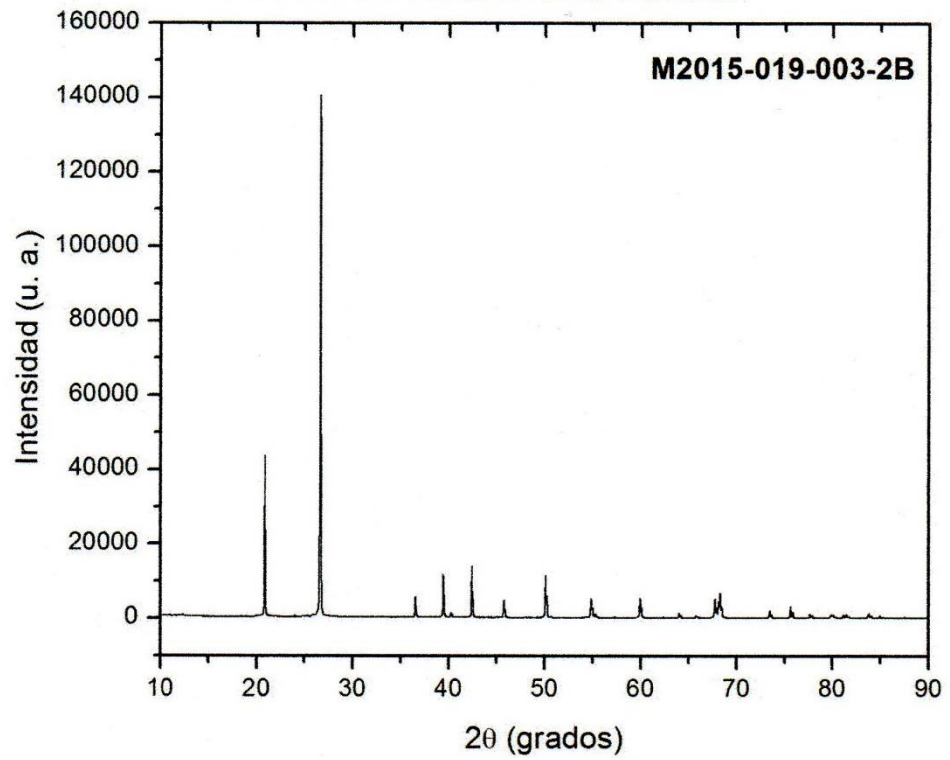
**Anexo 1: Difractograma del horizonte Iluvial del Suelo 01**



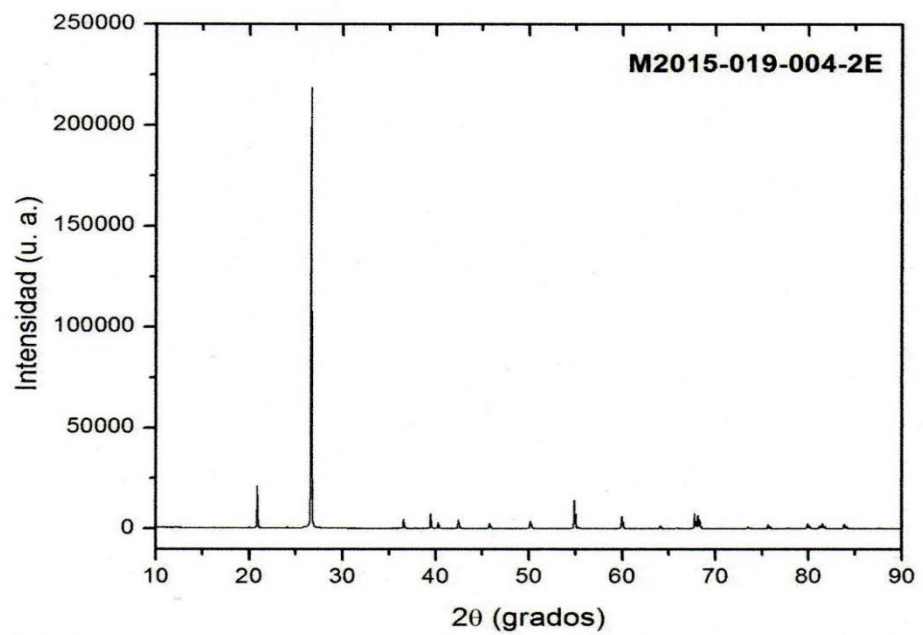
**Anexo 2: Difractograma del horizonte Eluvial del Suelo 01**



**Anexo 3: Difractograma del horizonte Iluvial del suelo 02**

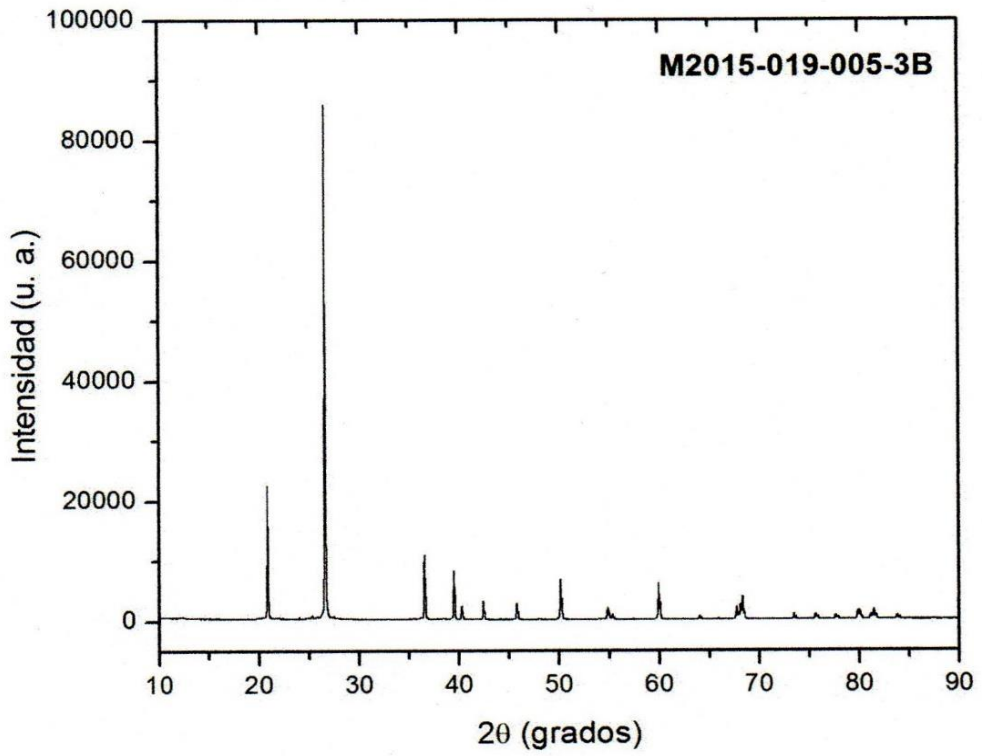


**Anexo 4: Difractograma del horizonte Eluvial del suelo 02**

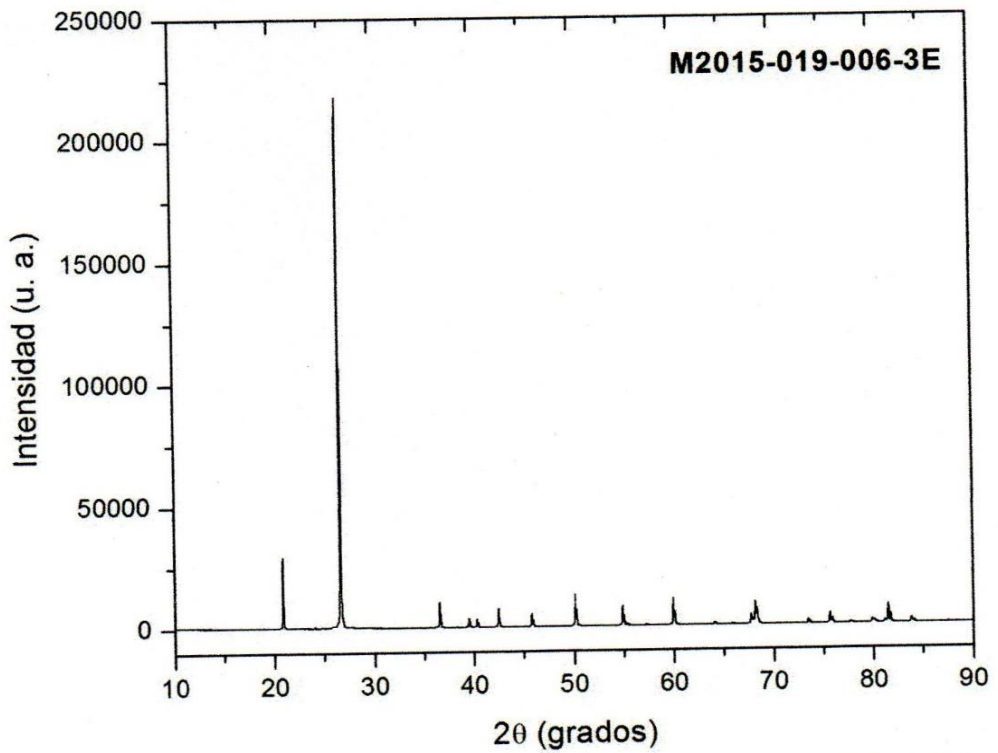




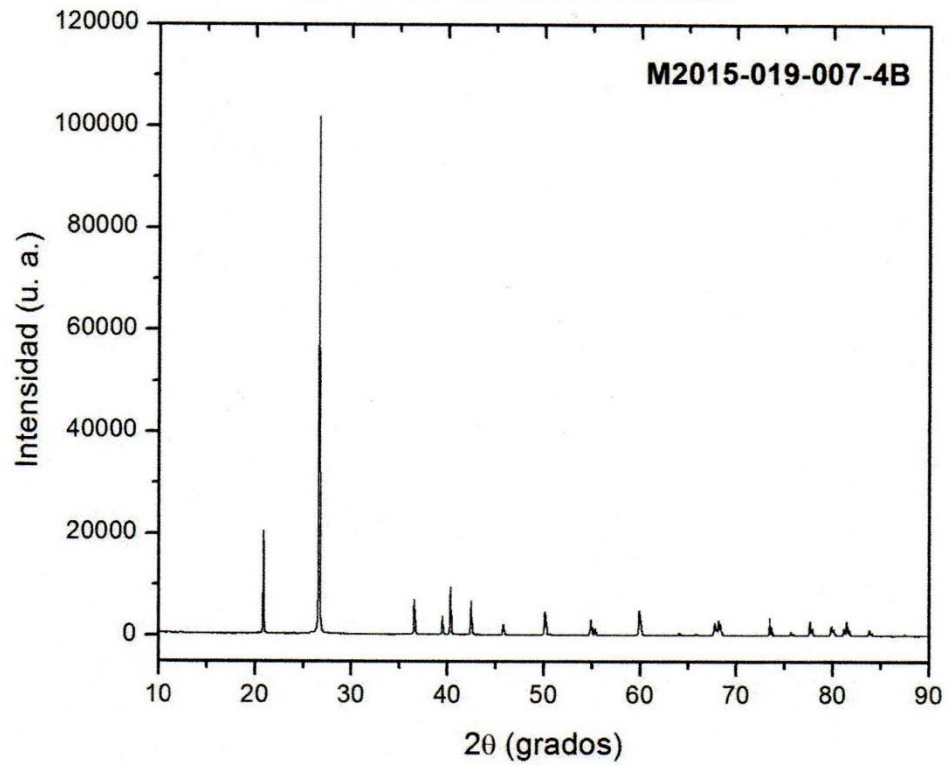
**Anexo 5: Difractograma del horizonte Iluvial del suelo 03**



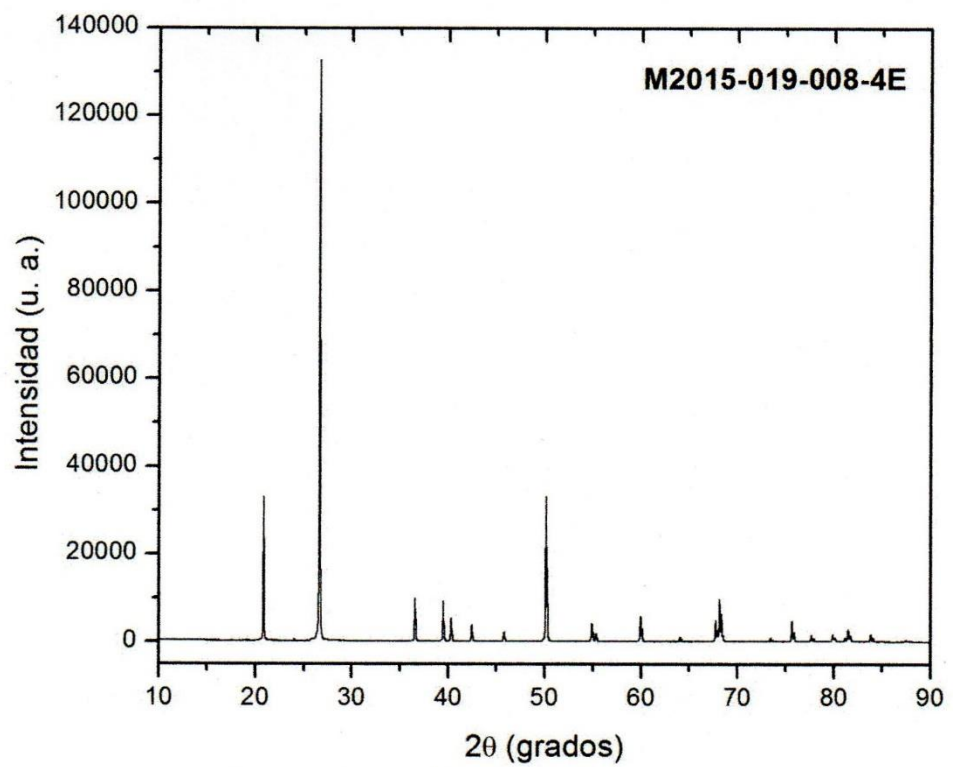
**Anexo 6: Difractograma del horizonte Eluvial del suelo 03**



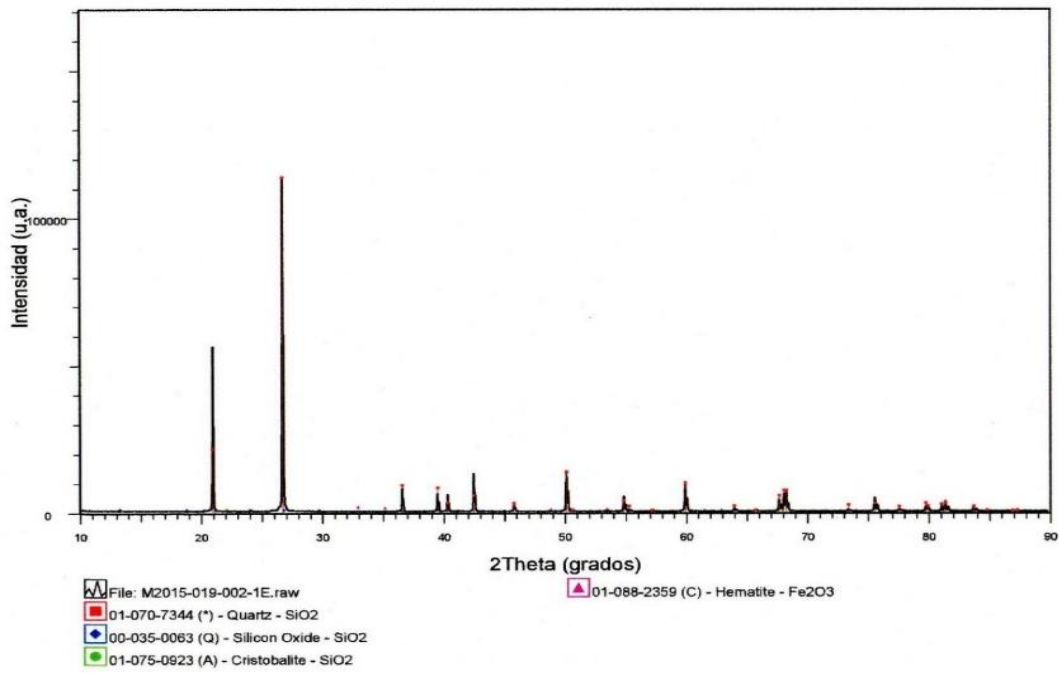
**Anexo 7: Difractograma del horizonte Iluvial del suelo 04**



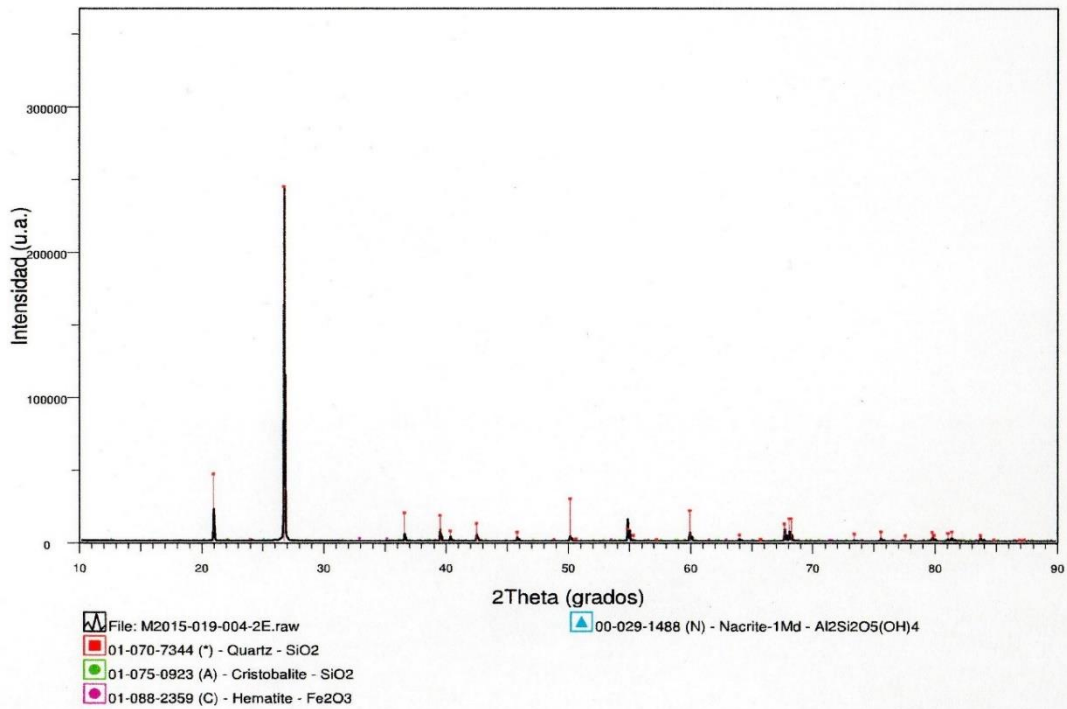
**Anexo 8: Difractograma del horizonte Eluvial del suelo 04**



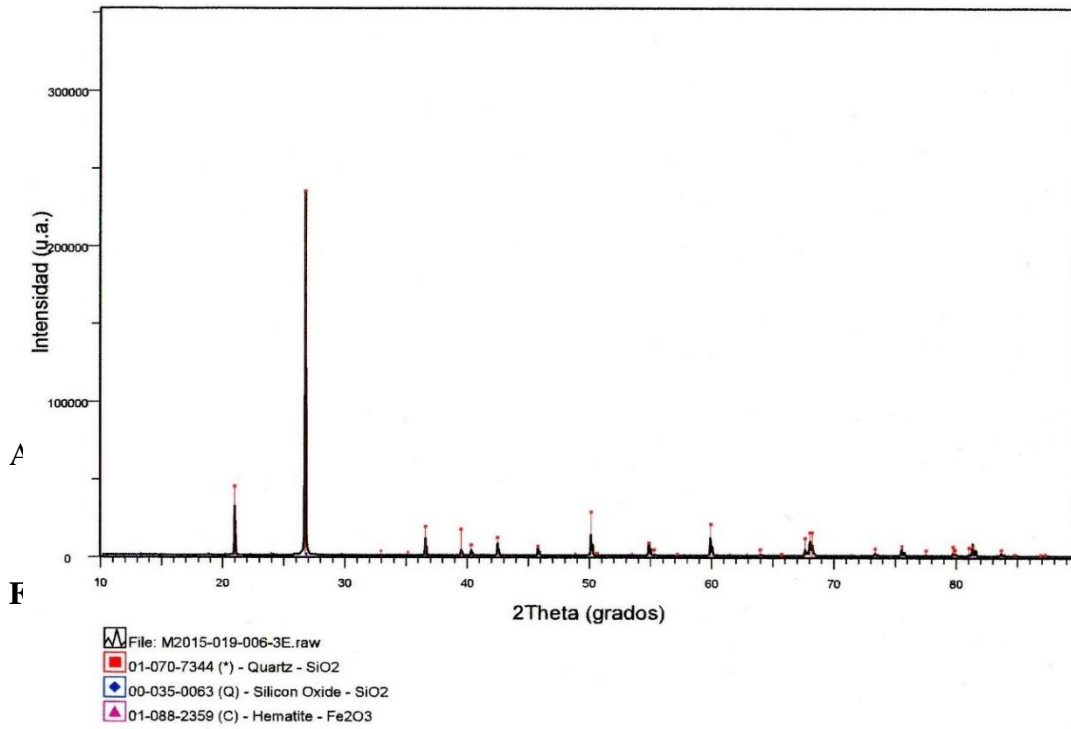
### Anexo 9: Picos de difracción del horizonte Eluvial del Suelo 01



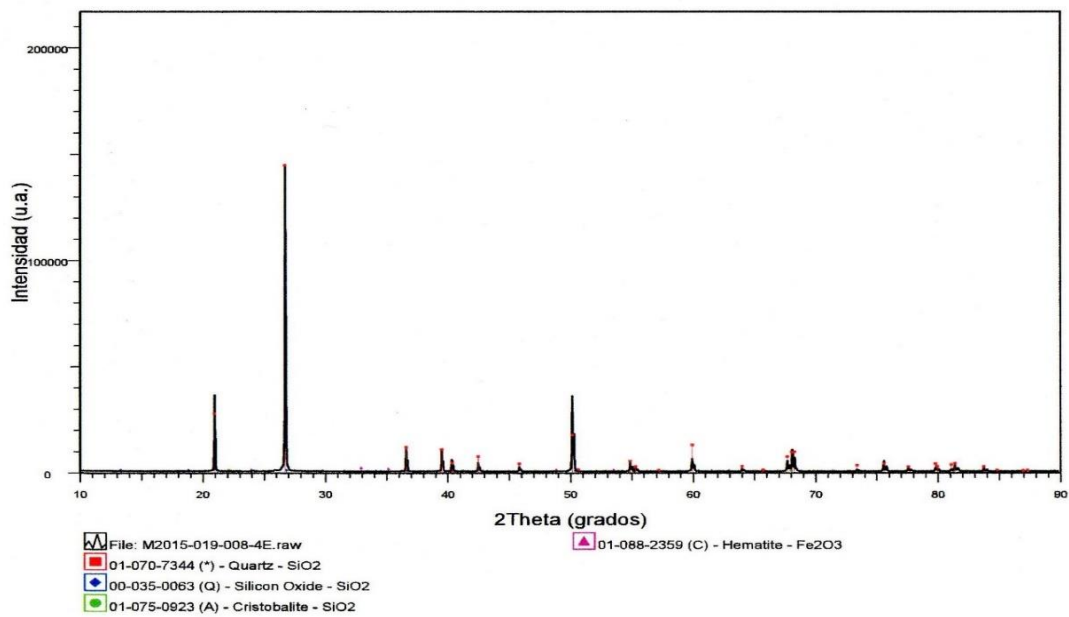
### Anexo 10: Picos de difracción del horizonte Eluvial del Suelo 02



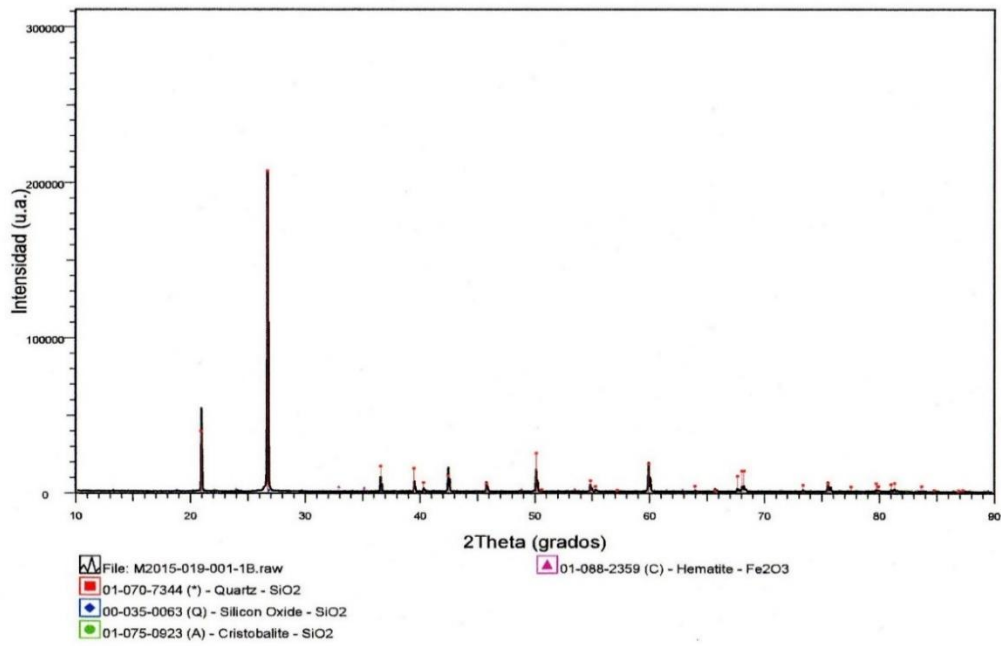
### Anexo 11: Picos de difracción del horizonte Eluvial del Suelo 03



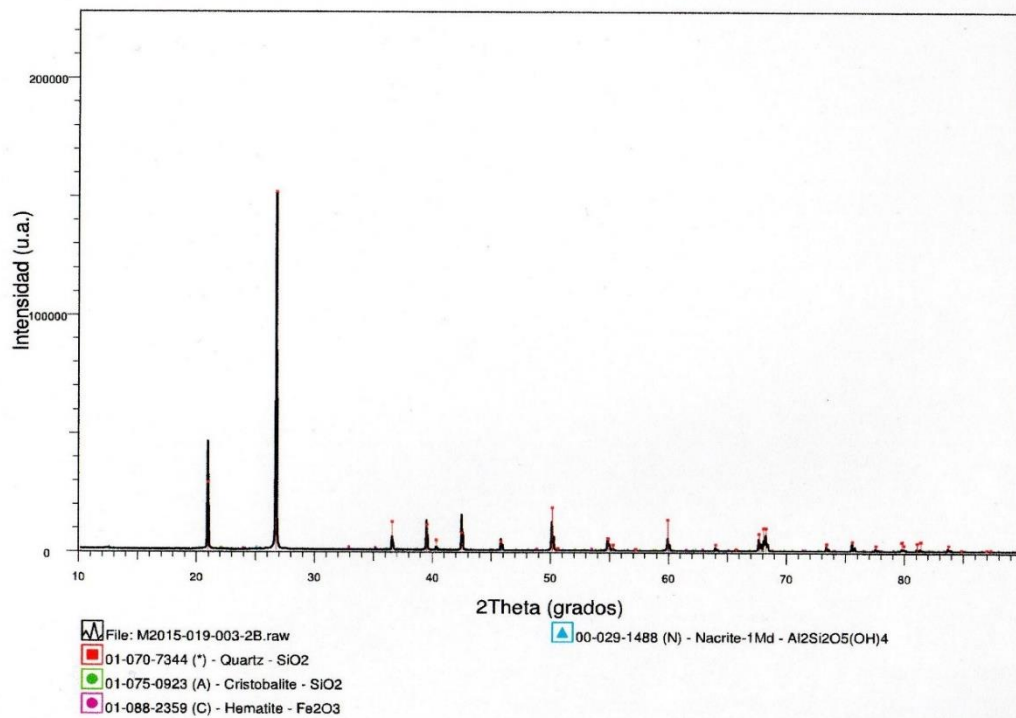
### Anexo 12: Picos de difracción del horizonte Eluvial del Suelo 04



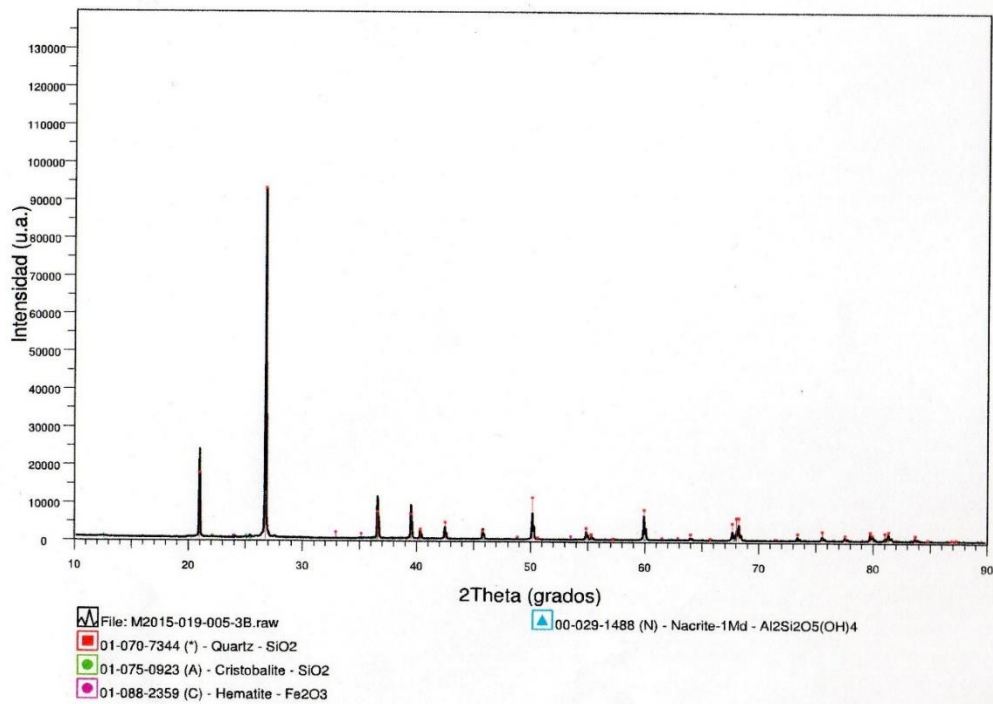
### Anexo 13: Picos de difracción del horizonte Iluvial del suelo 01



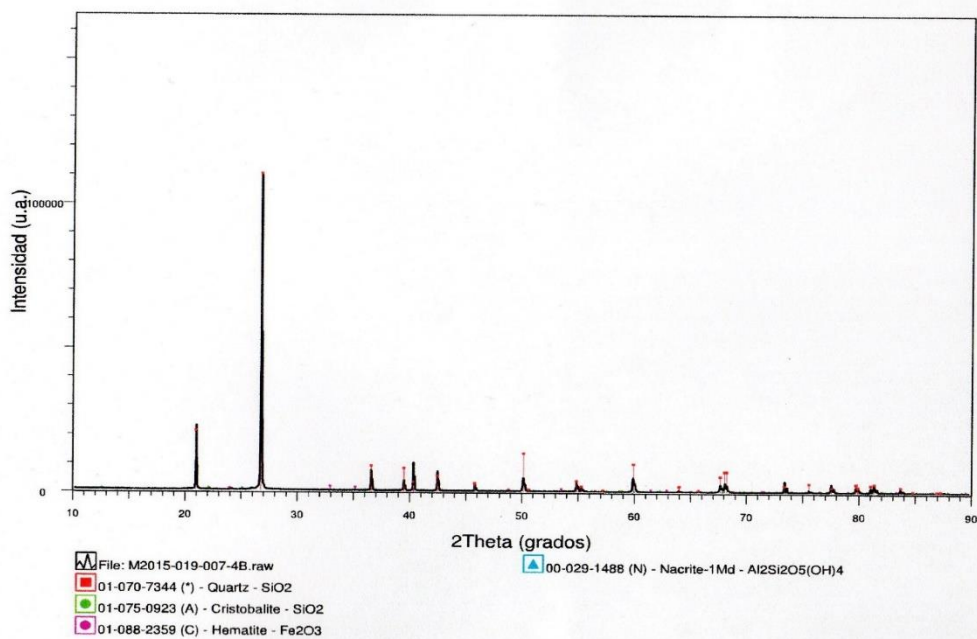
### Anexo 14: Picos de difracción del horizonte Iluvial del suelo 02



### Anexo 15: Picos de difracción del horizonte Iluvial del suelo 03



### Anexo 16: Picos de difracción del horizonte Iluvial del Suelo 04



**Anexos 17: CARACTERIZACION FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO 01**

CALICATA	PROF. (cm)	TEXTURA			CLAS. TEX.	COLOR	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA	pH	C.O. (%)	M.O. (%)	CIC cmol/K	SAT. B. (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
		A	L	Ar										
1	0-10	96,4	1,2	2,8	ARENA	10 YR 5/6	GRANULAR	MUY FRIABLE	3,47	1.3	2,24	19	9	0.05
	10-35	93,2	2,8	4,0	ARENA	10 YR 5/6	GRANO SIM.	SUELTA	3,87	0.5	0,87	19	8.6	0.04
	35-78	95,2	2,0	2,8	ARENA	10 YR 7/2	GRANO SIM.	SUELTA	4,53	0.38	0,67	19.2	9.1	0.04
	78-112	94,3	2,3	3,4	ARENA	10 YR 4/3	GRANO SIM.	SUELTA	4,30	0.24	0,41	20	8.5	0.06
	112-145	83,2	10,8	6,0	ARENA	10 YR 2/1	CEMENTADO	EXTREM. FIRME	3,94	2.83	4,88	20	8.6	0.06

**Anexo 18: CARACTERIZACION FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO 02**

CALICATA	PROF. (cm)	TEXTURA			CLAS. TEX.	COLOR	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA	pH	C.O. (%)	M.O. (%)	CIC cmol/K	SAT. B. (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
		A	L	Ar										
2	0-15	90,2	7,6	2,2	ARENA	10 YR 5/4	GRANULAR	MUY FRIABLE	4,60	0,28	0,48	9,6	16,7	1,3
	15-29	90,4	7,5	2,1	ARENA	10 YR 6/3	GRANO SIMPLE	SUELTA	4,65	0,26	0,46	11,2	15,5	0,78
	29-47	92,3	5,6	2,1	ARENA	10 YR 6/2	GRANO SIMPLE	SUELTA	4,71	0,14	0,25	11,2	15,8	0,75
	47-107	84,3	11,6	4,1	A. FRANCA	10 YR 4/4	MASIVA	MUY FIRME	4,59	1,44	2,48	23,2	8,2	8,06



**Anexo 19: CARACTERIZACION FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO 03**

CALICATA	PROF. (cm)	TEXTURA			CLAS. IEX.	COLOR	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA	pH	C.O. (%)	M.O. (%)	CIC cmol/K	SAT. B. (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
		A	L	Ar										
3	0-10	91,4	6,5	2,1	ARENA	10 YR 3/2	GRANULAR	MUY FRIABLE	4,00	0,93	1,60	11,2	17,6	0,02
	10-60	82,3	15,5	2,2	A FRANCA	10 YR 7/1	GRANO SIMPLE	MUY FRIABLE	4,70	0,06	0,10	5,6	34	0,06
	60-120	78,2	17,6	4,2	A FRANCA	10 YR 2/2	CEMENTADO	EXTREM. FIRME	3,44	4,18	7,20	38,4	7,55	0,06

**Anexo 20: CARACTERIZACION FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO 04**

CALICATA	PROF. (cm)	TEXTURA			CLAS. TEX.	COLOR	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA	pH	C.O. (%)	M.O. (%)	CIC cm <sup>ol</sup> /K	SAT. B. (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
		A	L	Ar										
4	0-10	83,3	13,5	3,2	ARENA FRANCA	10 YR 4/3	GRANULAR	MUY FRIABLE	4,10	0,75	1,29	9,6	62	0,05
	10-40	68,5	26,9	4,6	FRANCO ARENOSO	10 YR 7/1	GRANO SIMPLE	SUELTA	4,30	0,15	0,25	16	13	0,04
	40-130	90,3	7,6	2,1	ARENA	7,5 YR 2,5/1	CEMENTADO	EXTREM. FIRME	3,88	2,56	4,41	22,4	7,7	0,06

### Anexo 21: Cartilla de Información del Suelo 01

UNALM -SUELOS		PROYECTO		FECHA y HORA		Coord. UTM		CALICATA																	
DESCRIPCION DE PERFILES Elab. Ing. M. VALENCIA R.		TESIS		06/10/14		0681070 mE 9574933 mS		01																	
LOCALIDAD FUNDO ZUNGAROCOCHA		PAISAJE LLANURA ALUVIAL		RELIEVE PLANO		PENDIENTE (%) 2.6		VEGETACION VARILLAL SECO		ALTITUD (msnm) 112															
MATERIAL PARENTAL ALUVIAL ANTIGUO		PEDREG. SUPERF (%) —		F.GEO / LITO ARENAS CUARZITICAS		PRECIP ANUAL (mm) 2500		TEM. MED. AN (°C) 26		REG. HUMED UDICO		REG. TEMP 150 HIPERTERMICO													
PERMEABILIDAD RÁPIDA		DRENAJE ALGO EXCESIVO NAPA FREATI FLUCTVANTE		EROSION (tipo, grado) LIGERA		EPIPEDON OCRICO		HORZ. SUBS. ALBICO ESPODICO		CARAC. DIAG.		NIVEL ESTUDIO DETALLADO													
SOIL TAXONOMY ( 2014 ) ARENIC ALORTHODS ✓		NOMBRE SUELO KING KONG		ZONA DE VIDA Bmh-T		USO MAYOR (2009)		USO ACTUAL		MUESTRAS 06															
C PROFUNDIDAD (cm)		0-10		10-35		35-78		78-112		112-145		145-165													
A HORIZONTE Genético		A		AE		E		EB		Bhs		Bh													
R COLOR (Munsell)		Hum		10YR5/6		10YR 5/6		10YR 7/2		10YR 4/3		10YR 2/1		10YR3/3											
A Sec																									
C MOTEADO		Color Muns																							
T porcentaje		A=96.04		A=93.24		A=95.24		A=94.3		A=83.24															
E AREN-LIM-ARCILLA (%)		L=1.2		L=2.8		L=2		L=2.3		L=10.8															
R CLASE TEXTURAL		Cmp		Ar=2.76		Ar=3.96		Ar=2.76		Ar=3.4		Ar=5.96													
F FRAGM. GRUESOS		Lab		ARENA		ARENA		ARENA		ARENA		ARENA FRANCA													
I Tipo																									
S ESTRUCTURA		GS		GS		GS		GS		cementado															
I CONSISTENCIA		suelta		suelta		suelta		suelta		Extrem. Firme															
C RAICES		abundant.		escasas		escasas		escasas		—		—													
A LIMITE																									
S OTRAS CARACT (clay skins, compac, crack) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		0.05		0.04		0.04		0.06		0.06		0.06													
C pH		3.47		3.87		4.53		4.30		3.94															
A CARBONATOS (%)																									
R C.E. (dS/m)																									
A PSI (%)																									
C MATERIA ORGANICA. (%)		2.24		0.87		0.67		0.41		4.88															
T CARBONO ORGANICO (%)		1.30		0.5		0.38		0.24		2.83															
E P (mg/kg suelo)																									
R K (mg/kg suelo)																									
CIC SUELO		SC																							
(cmol (+) / kg suelo)		Acet		19		19.0		19.2		20		20													
Q CATIONES		Ca		0.98		0.96		1.06		1.05		1.12													
U Mg		0.38		0.38		0.36		0.34		0.34															
I CAMBIABLES		K		0.05		0.03		0.05		0.05		0.03													
M (cmol (+) / kg suelo)		Na		0.29		0.28		0.29		0.27		0.23													
I Al																									
C SATURACION BASES		Ace		9		8.6		9.1		8.5		8.6													
A (%)		SC																							
S CIC Arcilla																									
(cmol (+) / Kg arcilla)																									
		Ene		Feb		Mar		Abr		My		Jun		Jul		Ags		Set		Oct		Nov		Dic	
Temper		°C																							
Precip		mm																							



## Anexo 22: Cartilla de información del Suelo 02

UNALM -SUELOS		PROYECTO		FECHA y HORA		Coord. UTM		CALICATA	
DESCRIPCION DE PERFILES Elab. Ing. M. VALENCIA R.		TESIS		23/01/15		0679376 ME 9573226 MS		02	
LOCALIDAD FUNDO ZUNGAROCOCHA		PAISAJE LLANURA ALUVIAL		RELIEVE PLANO		PENDIENTE (%) 1.8		VEGETACION VARILLAL SECO	
MATERIAL PARENTAL ALUVIAL ANTIGUO		PEDREG. SUPERF (%) —		F.GEO / LITO ARENA CUARZITICA		PRECIP ANUAL (mm) 2500		TEM. MED. AN (°C) 26	
PERMEABILIDAD RÁPIDA		DRENAJE ALGO EXCESIVO NAPA FREATA FLUCTUANTE		EROSION (tipo, grado) LIGERA		EPIPEDON OCRICO		REG. HUMED UDICO	
SOIL TAXONOMY ( 2014 ) Type <i>HAPLORHODS</i>		NOMBRE SUELO NINA RUMI		ZONA DE VIDA Bmh-T		USO MAYOR (2009)		USO ACTUAL MUESTRAS 04	
PROFUNDIDAD (cm)		0-15		15-29		29-47		47-107	
HORIZONTE Genético		A <sub>0</sub>		AE		E		Bh <sub>1</sub>	
COLOR (Munsell)		Hum 10YR 5/4		10YR 6/3		10YR 6/2		10YR 4/4	
MOTEADO		Color Muns porcentaje		A = 90.28		A = 90.36		A = 92.28	
AREN-LIM-ARCILLA (%)		L = 7.56		L = 7.48		L = 5.56		L = 11.56	
CLASE TEXTURAL		Comp Ar = 2.16		Ar = 2.16		Ar = 2.16		Ar = 4.16	
FRAGM. GRUESOS		Tipo		Arena		Arena		Arena Franca	
ESTRUCTURA		G5		G5		G5		Migajosa	
CONSISTENCIA		suelta		suelta		suelta		muy firme	
RAICES		abundantes		escasas		escasas		—	
LIMITE									
OTRAS CARACT (clay skins, compac, orak) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		1.3		0.78		0.75		8.06	
pH		4.6		4.65		4.71		4.59	
CARBONATOS (%)									
C.E. (ds/m)									
PSI (%)									
MATERIA ORGANICA. (%)		0.48		0.46		0.25		2.48	
CARBONO ORGANICO (%)		0.28		0.26		0.14		1.44	
P (mg/kg suelo)									
K (mg/kg suelo)									
CIC SUELO		SC							
(cmol(+)/ kg suelo)		Acet		9.6		11.2		11.2	
Ca		0.96		1.08		1.12		1.26	
Mg		0.36		0.4		0.4		0.33	
K		0.03		0.03		0.03		0.05	
Na		0.26		0.23		0.22		0.26	
Al									
SATURACION BASES		Ace		16.7		15.5		15.8	
( % )		SC							
CIC Arcilla									
(cmol(+)/ Kg arcilla)									
		Ene		Feb		Mar		Abr	
		My		Jun		Jul		Ags	
		Set		Oct		Nov		Dic	
Temper		°C							
Precip		mm							

### Anexo 23: Cartilla de información del Suelo 03

UNALM -SUELOS		PROYECTO		FECHA y HORA		Coord. UTM		CALICATA	
DESCRIPCION DE PERFILES Elab. Ing. M. VALENCIA R.		TESIS		03/02/15.		0678540 mE 9572638 mS		03	
LOCALIDAD FUNDO ZUNGAROCOCHA		PAISAJE LLANURA ALUVIAL		RELIEVE PLANO		PENDIENTE (%) 2.8		VEGETACION VARILLAL HUMEDO ALTIUD (msnm) 116	
MATERIAL PARENTAL ALUVIAL ANTIGUO		PEDREG. SUPERF (%) —		F.GEO / LITO LIGERA		PRECIP ANUAL (mm) 2500		TEM. MED. AN (°C) 26 REG. HUMED UDICO REG. TEMP ISOHIPER TÉRMIICO	
PERMEABILIDAD RÁPIDA		DRENAJE ALGO EXCESIVO NAPA FREATI FLUCTUANTE		EROSION (tipo, grado) LIGERA		EPIPEDON OCRICO		HORZ. SUBS. ALBICO ESPODICO CARAC. DIAG. NIVEL ESTUDIO DETALLADO	
SOIL TAXONOMY ( 2014 ) TYPIC DURORTHODS		NOMBRE SUELO DOS DE MAYO		ZONA DE VIDA Bmh-T		USO MAYOR (2009)		USO ACTUAL MUESTRAS 04	
C PROFUNDIDAD (cm)		0-10		10-60		0-120			
A HORIZONTE Genético		A		E		Bh			
R COLOR (Munsell)		Hum 10YR 3/2		10YR 7/1		10YR 2/2			
A		Sec							
C MOTEADO		Color Muns							
T		porcentaje		A = 91.36		A = 82.30		A = 78.28	
E AREN-LIM-ARCILLA (%)		L = 6.48		L = 15.54		L = 17.56			
R CLASE TEXTURAL		Cmp Ar = 2.16		Ar = 2.16		Ar = 4.16			
F FRAGM. GRUESOS		Lab Arena		Arena Fr.		Arena Fr.			
I		Tipo							
S ESTRUCTURA		GS		GS		cementado			
I CONSISTENCIA		suelta		muy friable		extrem.firme			
C RAICES		abundantes		escasas		escasas			
A LIMITE									
S OTRAS CARACT.(clay skins, compac, crak)		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		0.02		0.06		0.06	
C pH		4.0		4.70		3.44			
A CARBONATOS (%)									
R C.E. (dS/m)									
A PSI (%)									
C MATERIA ORGANICA. (%)		1.6		0.10		7.2			
T CARBONO ORGANICO (%)		0.93		0.06		4.18			
E P (mg/kg suelo)									
R K (mg/kg suelo)									
CIC SUELO		SC							
(cmol(+)/ kg suelo)		Acet		11.2		5.6		38.4	
Q CATIONES		Ca		1.26		1.24		2.28	
U CAMBIABLES		Mg		0.4		0.4		0.33	
M (cmol(+)/ kg suelo)		K		0.08		0.03		0.04	
I		Na		0.23		0.26		0.25	
C SATURACION BASES		Al							
A (%)		Ace		17.6		34		7.55	
S CIC Arcilla		SC							
(cmol(+)/ Kg arcilla)									
		Ene		Feb		Mar		Abr	
Temper		°C							
Precip		mm							
		My		Jun		Jul		Ags	
		Set		Oct		Nov		Dic	



Anexo 24: Cartilla de Información del Suelo 04

UNALM -SUELOS		PROYECTO		FECHA y HORA		Coord. UTM		CALICATA						
DESCRIPCION DE PERFILES Elab. Ing. M. VALENCIA R.		TESIS		07/02/15		0677872 mE 9572378 mS		04						
2	LOCALIDAD FUNDO ZUNGARCOCHA	PAISAJE LLANURA ALUVIAL	RELIEVE PLANO	PENDIENTE (%) 1.2	VEGETACION VARILLAL HUMEDO	ALTITUD (msnm) 108								
0	MATERIAL PARENTAL ALUVIAL ANTIGUO	PEDREG. SUPERF (%) —	F.GEO / LITO LIGERA	PRECIP ANUAL (mm) 2500	TEM. MED. AN (°C) 26	REG. HUMED UDICO	REG. TEMP ISOHIPER TÉRMIICO							
1	PERMEABILIDAD RÁPIDA	DRENAJE ALGO EXCESIVO NAPA FREATI FLUCTUANTE	EROSION (tipo, grado) LIGERA	EPIPEDON OCRICO	HORZ. SUBS. ALBICO ESPOD'CO	CARAC. DIAG.	NIVEL ESTUDIO DETALLADO							
5	SOIL TAXONOMY (2014) TYPIC DURORTHODS	NOMBRE SUELO LLANCHAMA	ZONA DE VIDA Bmh-T	USO MAYOR (2009)	USO ACTUAL	MUESTRAS 03								
C	PROFUNDIDAD (cm)	0-10	10-40	40-130										
A	HORIZONTE Genético	A	E	Bh <sub>1</sub>										
R	COLOR (Munsell)	Hum 10YR 4/3	10YR 7/1	7.5YR 2.5/1										
A		Sec												
C	MOTEADO	Color Muns porcentaje	A=83.25	A=68.3	A=90.28									
E	AREN-LIM-ARCILLA (%)	L=13.54	L=26.94	L=7.56										
R	CLASE TEXTURAL	Cmp Ar=3.21	Ar=4.56	Ar=2.16										
F	FRAGM. GRUESOS	Lab Arena Fr.	Fr. arenoso	Arena										
I		Tipo												
S	ESTRUCTURA	GS	GS	cementado										
I	CONSISTENCIA	suelta	suelta	extrem.firme										
A	RAICES	abundantes	escasas	raíces										
C	LIMITE													
S	OTRAS CARACT (clay skins, compac, crack)													
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.05	0.04	0.06										
C	pH	4.1	4.30	3.88										
A	CARBONATOS (%)													
R	C.E. (dS/m)													
A	PSI (%)													
C	MATERIA ORGANICA (%)	1.29	0.25	4.41										
T	CARBONO ORGANICO (%)	0.75	0.15	2.56										
E	P (mg/kg suelo)													
R	K (mg/kg suelo)													
	CIC SUELO	SC												
	(cmol(+)/ kg suelo)	Acet	9.6	16	22.4									
U	CACIONES	Ca	5.3	1.42	1.12									
I	CAMBIABLES	Mg	0.43	0.4	0.36									
M	(cmol(+)/ kg suelo)	K	0.24	0.24	0.23									
I		Na	0.07	0.03	0.03									
		Al												
C	SATURACION BASES	Ace	62	13	7.7									
A	(%)	SC												
S	CIC Arcilla													
	(cmol(+)/ Kg arcilla)													
		Ene	Feb	Mar	Abr	My	Jun	Jul	Ags	Set	Oct	Nov	Dic	
	Temper °C													
	Precip mm													