



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS:

**“NIVEL DE FERTILIDAD NATURAL DE LOS SUELOS CON INFLUENCIA
MINERA EN EL CASERÍO DE APALINA ALTA CAJAMARCA, 2015”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

**Presentado por la Bachiller:
LEIVA TORRES, MARÍA ELFA**

Cajamarca – Perú

2016

A:

A mis padres Aguinaldo y Catalina por su infinito amor, por su apoyo incondicional y esfuerzo para poder ser cada día mejor, gracias por confiar en mí.

A Wilman, José y Deivis, mis hermanos que alegran mi día cada mañana, son mi fortaleza, motor de mi vida, para que sigan mis pasos, esto es un inicio, los amo.

Elfa

AGRADECIMIENTO

A Dios fuente de sabiduría que guía mi camino e ilumina mis pasos, acompañándome en mi travesía.

A la Universidad Alas Peruanas Filial Cajamarca por ser el alma mater y crisol de mi formación profesional y a los administrativos en especial al señor Juan, el bibliotecario gracias por tanta amabilidad.

A mis amigos que siempre estuvieron a mi lado apoyándome, no los olvidaré y a todas las personas que me apoyaron para la culminación de este trabajo de investigación, no los defraudaré.

La Autora

RESUMEN

La presente tesis de investigación, sobre el estudio del nivel de fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío de Apalina Alta Cajamarca, 2015, tiene como objetivo general determinar el nivel fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta. Para lograr el objetivo mencionado se contó con el apoyo del Centro Experimental INIA Cajamarca, que brindó el Laboratorio para el análisis de las muestras de suelo, el mismo que se dividió en cuatro zonas. Se realizó el análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo. En cuanto a las propiedades físicas se investigó la textura (norma ASTM D422-63) y densidad aparente; en el estudio de propiedades químicas se estudió el pH, fósforo, potasio, materia orgánica y aluminio. Se hizo la interpretación y el análisis estadístico de los resultados. Donde se concluyó que el nivel fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta, es de tipo baja de un 15 a 55% de textura, el nivel de fertilidad física de los suelos del caserío Apalina Alta, comprobó la textura de 12 puntos de muestreo donde: 07 muestras de suelo, presentan la clase textural Franco Arcillosa (TO-30, TO-50, TA-50, TB-10, TC-10, TC-30, TC-50), 01 punto de muestreo TB-50, pertenece a la clase textural Franca Arenosa, 03 puntos de muestreo, arrojan la clasificación de suelos Franco (T0-10, TA-10 y TA-30) y el punto de muestreo(TB-30) arrojó Franco Arcillo Limoso. Con respecto a la densidad aparente, se obtuvo que la zona (TO-10) presenta 1.35 g/cm³ que clasifica en textura al suelo como Franca Arcilloso Limoso. Así mismo, los resultados de laboratorio INIA Cajamarca arrojaron que el nivel de fertilidad químico de los suelos del caserío Apalina Alta, contienen la presencia de potasio (K) en valores asimilables, catalogados como altos con 205 ppm (TB-50) que pertenece a la zona B, en relación con el fósforo el mayor punto de muestreo lo presenta en la Zona B, con 15.63 (TB-30), En cuanto al pH, el promedio encontrado de las 04 zonas de estudio es de 5.4, concluyendo que el caserío presenta suelos Fuertemente ácidos y con respecto al aluminio, se aprecia que el punto TC-50 presenta 11.8 Meq/100, que infiere que los suelos encontrados son fuertemente ácidos.

Palabras claves: Acido, parcela, fertilidad, químico, físico, macronutrientes, homogéneos, concentración, estrategia, manejo integrado.

ABSTRAC

The present research thesis on the study of the natural fertility level of the soils with mining influence in the Apalina Alta Cajamarca hamlet, 2015, has as general objective to determine the natural fertility level of the soils with mining influence in the Apalina Alta farm. To achieve the aforementioned objective, it was supported by the INIA Cajamarca Experimental Center, which provided the Laboratory for the analysis of soil samples, which was divided into four zones. The analysis of the physical and chemical properties of the soil was carried out. As for the physical properties, the texture (ASTM D422-63) and bulk density were investigated; In the study of chemical properties we studied pH, phosphorus, potassium, organic matter and aluminum. The interpretation and the statistical analysis of the results were done. It was concluded that the natural fertility level of the soils with a mining influence in the Apalina Alta hamlet is of a low 15 to 55% texture, the physical fertility level of the Apalina Alta farm, verified the texture of 12 sampling points where: 07 soil samples have the textural class Franco Arcillosa (TO-30, TO-50, TA-50, TB-10, TC-10, TC-30, TC-50) (T0-10, TA-10 and TA-30) and the sampling point (TB-30) was the result of Franco-Arcillo's sampling. Slimy. With respect to the bulk density, it was obtained that the zone (TO-10) presents 1.35 g / cm³ that classifies in texture to the soil like France Clay Loam. Likewise, the INIA Cajamarca laboratory results showed that the chemical fertility level of the Apalina Alta farm houses the presence of potassium (K) in assimilable values, classified as high with 205 ppm (TB-50) belonging to Zone B, in relation to phosphorus, the highest sampling point is in Zone B, with 15.63 (TB-30). In terms of pH, the average found in the 04 study areas is 5.4, concluding that The soil is strongly acidic and with respect to aluminum, it can be seen that TC-50 has 11.8 Meq / 100, which indicates that the soils found are strongly acidic.

Keywords: Acid, plot, fertility, chemical, physical, macronutrients, homogeneous, concentration, strategy, integrated management.

INTRODUCCIÓN

El caserío Apalina Alta, pertenece al centro poblado Yanacancha Grande, distrito la Encañada, provincia de Cajamarca, muestra una población de 540 habitantes, constituido por 90 familias. Estas personas conforman el 2.1% de la población del distrito de la Encañada y representan menos del 0.1% de la población regional. En la presente tesis profesional sobre el estudio del nivel de fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío de Apalina Alta Cajamarca, 2015. Se ha enfocado en estudiar e investigar la fertilidad natural (física y química) de los suelos con influencia minera en el caserío de Apalina Alta.

El objetivo general de la presente investigación es determinar el nivel fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015.

Para lo cual presenta el siguiente problema principal ¿Cuál es el nivel de fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015?

Esta investigación se justifica porque logra estudiar e investigar la fertilidad natural (física y química) de los suelos con influencia minera en el caserío de Apalina Alta y así mejorar la producción agrícola de la zona y proponer estrategia de optimar los suelos de la zona con influencia minera de los centros poblados de la zona, a través de una propuesta de un manejo integrado de suelos naturales, para mejorar la fertilidad natural actual de los suelos de los pobladores y lograr que los agricultores tengan la posibilidad de proporcionar a sus tierras una estrategia adecuada de fertilización para un mejor aprovechamiento de sus tierras y obtener mejores resultados en sus cosechas.

El presente trabajo de investigación, sobre el estudio del nivel de fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío de Apalina Alta Cajamarca, 2015. Consta de cinco capítulos: *Primer Capítulo*; contiene descripción de la realidad problemática, delimitación de la investigación, delimitación especial, delimitación social, delimitación temporal, delimitación conceptual, problema principal, problemas secundarios, objetivo general, objetivos específicos, Hipótesis y variables de la investigación, justificación, importancia, limitaciones. *Segundo Capítulo*; incluye antecedentes del problema, bases teóricas, definición de términos básicos. *Tercer Capítulo*; Resultados del trabajo de investigación, análisis estadístico y Análisis e interpretación de resultados. *Cuarto capítulo*; proceso de contraste de hipótesis *Quinto Capítulo*; Conclusiones, Recomendaciones, Referencias bibliográficas, anexos, matriz de consistencia y anexos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Portada	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	vi

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática	01
1.2. Delimitación de la investigación	03
1.2.1. Delimitación espacial	03
1.2.2. Delimitación social	03
1.2.3. Delimitación temporal	03
1.2.4. Delimitación conceptual	03
1.3. Problemas de investigación	04
1.3.1. Problema principal	04
1.3.2. Problemas secundarios	04
1.4. Objetivos de la investigación	04
1.4.1. Objetivo general	04
1.4.2. Objetivos específicos	04
1.5. Hipótesis y variables de la investigación	05
1.5.1. Hipótesis general	05
1.5.2. Hipótesis secundarias	05
1.5.3. Variables de la Investigación	06
1.6. Metodología de la investigación	07
1.6.1. Tipo y nivel de investigación	07
a) Tipo de investigación	07
a) Nivel de investigación	07
1.6.2. Método y diseño de la investigación	07
a) Método de investigación	07
b) Diseño de investigación	07
1.6.3. Población y muestra de la investigación	07
a) Población	07
a) Muestra	08
c) Técnicas	08
d) Instrumentos	08

	Pag.
1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación	
a) Justificación	09
b) Importancia	09
b) Limitaciones	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.2. Bases teóricas	13
2.3. Definición de términos básicos	58
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
3.1. Resultados del trabajo de investigación	69
3.1. Análisis e Interpretación de Resultados	84
CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS	
4.1. Prueba de hipótesis general	103
4.2. Prueba de hipótesis específicas	104
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
a) Conclusiones	105
b) Recomendaciones	107
c) Referencias	108
Anexos	111

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variables de la investigación	05
Tabla 2. Operacionalización de las variables de la investigación	06
Tabla 3. Coordenas de Apalina Alta y Baja	14
Tabla 4. Producción de cultivos significativos caserío Apalina Alta	17
Tabla 5. Ganado ovino del caserío Apalina Alta	18
Tabla 6. Ganado vacuno del caserío Apalina Alta	18
Tabla 7. Detalle de procedencia de los contaminantes	21
Tabla 8. Clasificación de suelos en función a su tamaño	26
Tabla 9. Clasificación internacional de suelos	29
Tabla 10. Clasificación de Fertilidad natural del suelo	34
Tabla 11. Descripción de clases de partículas del suelo	35
Tabla 12. Clases texturales del suelo -densidad aparente	39
Tabla 13. Calificación del pH del suelo (USDA)	41
Tabla 14. Clase de salinidad en función de la C.E. del suelo	42
Tabla 15. Interpretación de análisis de nitrógeno total	43
Tabla 16. Interpretación de análisis de P, K	44
Tabla 17. Interrelaciones de la actividad minera con el ambiente	46
Tabla 18. Técnicas de contención recuperación de suelos contaminados	53
Tabla 19. Técnicas de recuperación de suelos contaminados	54
Tabla 20. Muestra de estudios Apalina Alta 2015	62
Tabla 21. Cronograma trabajo Apalina Alta 2015	63
Tabla 22. Ubicación de puntos de muestreo de suelo UTM	67
Tabla 23. Instrumentos de laboratorio	70
Tabla 24. Lecturas de partículas	74
Tabla 25. Resultados de análisis granulométrico Apalina Alta	85
Tabla 26. Resultados del análisis de densidad aparente	90
Tabla 27. Promedio de D.A	91
Tabla 28. Resumen de Puntos de muestreo D.A	93
Tabla 29. Lecturas de pH del suelo, tres lecturas por cada muestra	94
Tabla 30. Resultados del análisis de pH y su clasificación	96

	Pag.
Tabla 31. Resultados del análisis de pH y su clasificación	96
Tabla 32. Resultados de macronutrientes P, K, M.O y Al	99
Tabla 33. Nivel de fertilidad natural de suelos	112
Tabla 34. Población de estudio Apalina Alta 2015.	113
Tabla 35. Lecturas del hidrómetro (g/L), dos submuestras.	114
Tabla 36. Análisis granulométrico, caserío Apalina Alta	115
Tabla 37. Relación de beneficiarios que reciben asistencia técnica	122

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plano de ubicación del Yanacancha Grande	15
Figura 2. Alimentos Analizados en Apalina Alta	22
Figura 3. Ámbito de influencia de Yanacocha 2016	23
Figura 4. Horizontes del suelo	28
Figura 5. Fertilidad del suelo	32
Figura 6. Triángulo de las clases texturales del suelo	37
Figura 7. pH y disponibilidad de nutrientes	41
Figura 8. Suelos contaminados, por metales pesados	49
Figura 9. Efecto de las lluvias acidas en los suelos	51
Figura 10. Ubicación puntos de muestro, 2015	66
Figura 11. Toma de muestras trabajo de investigación 2015	68
Figura 12. Pesadas de toma de muestras de Apalina Alta	69
Figura 13. .Cuarteo manual de las muestras 2015. Apalina alta	71
Figura 14. Muestras A y B INIA Cajamarca	72
Figura 15. Toma de muestras, Izquierda	73
Figura 16. Toma de muestras, utilizando un cilindro	75
Figura 17. Toma de muestras, utilizando un cilindro	77
Figura 18. Solución de muestras de suelo para centrifugar	77
Figura 19. Solución traslucida, después de llevar a la centrífuga	78
Figura 20. Lecturas de ensayo INIA Cajamarca	79
Figura 21. Muestras vaciadas a los crisoles para peso	82
Figura 22. Muestras vaciadas en estufa por unos 10 min	83
Figura 23. Resultados del análisis granulométrico.	87
Figura 24. Promedio total de análisis granulométrico de Apalina Alta	88
Figura 25. Resultados de Densidad Aparente	90
Figura 26. Promedio total de Densidad Aparente	92
Figura 27. Resultados de promedio de pH	95
Figura 28. Resultados de promedio total de pH, caserío Apalina Alta	97
Figura 29. Clasificación total de muestreos de pH	98
Figura 30. Promedios de macronutrientes	100
Figura 31. Promedios de aluminio de Apalina Alta	101
Figura 32. Registro de datos INIA abril 2015	104

	Pag.
Figura 33. Registro de datos INIA mayo, 2015.	105
Figura 34. Registro de datos INIA junio, 2015.	106
Figura 35. Registro de datos INIA julio, 2015	107
Figura 36. Registro de datos INIA agosto, 2015.	108
Figura 37. Registro de datos INIA setiembre, 2015.	109
Figura38. Parcelas Georreferenciadas Convenio II Yanacocha 2015	112
Figura 39. Frases para la tierra	113

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

El estudio de la fertilidad natural así como el análisis químico de la disponibilidad de nutrimentos del suelo, tienen que ver con la pérdida total o parcial de su productividad cualitativa o cuantitativamente o en ambas formas, como consecuencia de procesos tales como erosión, salinización, inundación y la contaminación, que finalmente tienen una incidencia directa sobre la disminución de la fertilidad de los suelos. (Casanova, 2010)

En países como Bogotá ha incursionado notablemente la alta fertilidad en un 55%, de los suelos lo que ha superado el propósito elemental de evaluación de la fertilidad del suelo. En el Perú el 9.1% ha logrado fertilizar el suelo con características de alta fertilidad en ciudades como Piura, Chiclayo. En Cajamarca el 1.8% de agricultores han logrado fertilizar el suelo con características de alta fertilidad considerando que en la zona existen compañías mineras como Yanacocha S.A. que por sus actividades mineras contaminan el suelo con metales pesados lo que impide una buena fertilización de suelos en la región. En la caserío de Apalina Alta del distrito de Cajamarca, por estudios topográficos se conoce que presenta suelos de origen Aluvio coluvial, producto de la escorrentía superficial que drenan de

las partes altas de los cerros y laderas que dominan las cuencas, estos suelos presentan altas saturaciones de bases como el fósforo y otros elementos químicos y compuestos contaminantes.

El presente estudio de investigación, se ha enfocado en estudiar e investigar la fertilidad natural (física y química) de los suelos con influencia minera en el caserío de Apalina Alta, porque presentan bajo índice de productividad agrícola y proponer una estrategia adecuada de fertilización para un mejor aprovechamiento de sus tierras y obtener mejores resultados en sus cosechas, para optimar la fertilidad de suelos del caserío Apalina Alta.

En la actualidad, no se conoce con precisión de algún estudio ejecutado para mejorar la fertilidad de los suelos de la zona de estudio, lo que impide formular políticas de control o disminución de disponibilidad, así como una evaluación de la fertilidad del suelo para proteger no sólo las características físicas del suelo, sino también las nutricionales.

En este contexto, la presente investigación analiza las condiciones físicas y químicas para mejorar la fertilidad de suelo en niveles nutricionales y así crear condiciones óptimas de manejo del suelo para el crecimiento vegetal y con ellas pretender, preservar y recuperar la fertilidad. Además de incorporar y reponer los nutrientes esenciales demandados por los cultivos que el suelo no puede suplir oportunamente en la cantidad y calidad requerida del caserío de Apalina Alta.

1.2. Delimitación de la Investigación

1.2.1. Delimitación Espacial

Esta investigación se realizó en el Caserío Apalina Alta, que pertenece al centro poblado Yanacancha Grande, distrito la Encañada, provincia de Cajamarca.

1.2.2. Delimitación Social

Esta investigación comprende principalmente a los lugares Apalina Alta, Apalina Baja, La Shoclla, Las Lagunas y el Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA Cajamarca.

1.2.3. Delimitación Temporal

La presente tesis profesional se llevó a cabo desde el 11 de abril al 11 de setiembre de 2015.

1.2.4. Delimitación Conceptual

Esta investigación estuvo enfocada en determinar la composición química para analizar la fertilidad de suelo en niveles nutricionales y así crear condiciones óptimas de manejo del suelo para el crecimiento vegetal y determinar si el uso que se planea del suelo puede afectar negativamente la calidad ambiental.

1.3. Problemas de Investigación

1.3.1. Problema Principal

¿Cuál es el nivel de fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015?

1.3.2. Problema Secundarios

¿Cuál es el nivel de fertilidad física de los suelos del caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015?

¿Cuál es el nivel de fertilidad química de los suelos del caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Determinar el nivel fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el nivel fertilidad física de los suelos del caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015.
- Determinar el nivel fertilidad química de los suelos del caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015.

1.5. Hipótesis y Variables de la Investigación

1.5.1. Hipótesis General

- Los suelos agrícolas con influencia minera del caserío de Apalina Alta, presentan fertilidad natural baja.

1.5.2. Hipótesis Secundarias

- La fertilidad física de los suelos del caserío Apalina Alta, presenta un nivel
- La fertilidad química de los suelos del caserío Apalina Alta, presenta un nivel baja.

1.5.3. Variables de la investigación

Variable: Fertilidad del suelo.

Tabla 1. Variables de la investigación

Variable:	Propiedades
Fertilidad del suelo.	- Está conformada por propiedades físicas (Textura, Densidad Aparente).
	- Está conformada por propiedades químicas (pH, F, K y M.O).

Fuente: Elaboración Propia, 2015.

1.5.4. Operacionalización de las variables de investigación

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnica
V: Fertilidad del suelo	Es una disciplina científica que integra los principios de la biología, química y física del suelo para desarrollar las prácticas de manejo de los nutrientes de una manera que resulte provechosa y sana.	propiedades físicas	Textura	Análisis de laboratorio
			Densidad aparente	
		propiedades químicas	pH	
			P	
			K	
			M.O Al	

Tabla 2. Operacionalización de las variables de la investigación
Fuente: Elaboración Propia, 2015.

Para ejecutar el presente trabajo de investigación se utilizó, datos obtenidos en campo y laboratorio de suelos de la Estación Experimental Baños del Inca Cajamarca Innovación Agraria INIA, para poder procesar y analizar la información.

1.6. Metodología de la Investigación

1.6.1. Tipo y Nivel de Investigación

a) Tipo de Investigación

La investigación que se realizó fue de tipo cuantitativa, experimental.

b) Nivel de Investigación

El nivel de investigación utilizado fue de nivel descriptivo, porque se describe las propiedades físicas y químicas de los suelos, que en conjunto permiten determinar el nivel de fertilidad de los mismos. Comparando estos valores obtenidos con los datos obtenidos mediante el conocimiento de la fertilidad de los suelos agrícolas y el uso agronómico.

1.6.2. Método y Diseño de la Investigación

a) Método de investigación

Se utilizó el método hipotético deductivo.

b) Diseño de investigación

La investigación es experimental, porque las muestras de suelos obtenidos en las muestras (Unidades Agrarias), se analizaron en los respectivos Laboratorios de INIA Cajamarca.

1.6.3. Población y muestra de la investigación

a) Población

Se considera como universo del presente trabajo de investigación a las 19 parcelas seleccionadas del caserío de Apalina Alta, del distrito de Cajamarca, durante el año 2016.

b) Muestra

Se considera como muestra a los 12 muestreos realizados de las 04 parcelas seleccionadas en el Laboratorio de INIA Cajamarca, obtenidos del caserío de Apalina Alta, durante el periodo de ejecución del presente trabajo de investigación.

1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Técnicas

Las técnicas empleadas: Las muestras de análisis obtenidas en las UA, las mismas que fueron analizadas en el Laboratorio de INIA Cajamarca. Los resultados fueron anotados en el libro de registros.

b) Instrumentos

Los instrumentos que se emplearon para la elaboración del presente trabajo fueron: Data del programa de Laboratorio de INIA Cajamarca.

1.6.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación

a) Justificación

La importancia del presente trabajo de investigación, radica que en la actualidad la fertilidad natural de un suelo es lograr cosechas satisfactorias en base a procesos como la meteorización de la roca madre, la humificación y mineralización de la materia orgánica, y presente buenas características físicas que son indicadores de la

fertilidad del suelo, así como las prácticas agroecológicas evitarán que pueda generar daño a la estructura del suelo.

El caserío de Apalina Alta, distrito de la Encañada, presenta un bajo rendimiento de productividad agraria, teniendo como consecuencias carencia de recursos económicos y emigraciones, por lo que el presente trabajo de investigación, se orientó a investigar la fertilidad natural (física y química) de los suelos con influencia minera en el caserío de Apalina Alta y así mejorar la producción agrícola de la zona y proponer estrategia de optimar los suelos de la zona con influencia minera de los centros poblados de la zona, a través de una propuesta de un manejo integrado de suelos naturales y lograr que los agricultores tengan la posibilidad de proporcionar a sus tierras una estrategia adecuada de fertilización natural para un mejor aprovechamiento de sus tierras y obtener mejores resultados en sus cosechas.

Los resultados del presente trabajo de investigación beneficiarán directamente a los pobladores de la zona y a las autoridades. Además los aportes del presente trabajo, servirá de guía para posteriores investigaciones interesados en estudios de fertilidad natural de suelos.

b) Importancia

Es importante tener presente que el suelo no es una materia muerta, sino que se trata de un cuerpo que se encuentra en un proceso de transformación constante. Las transformaciones que sufre el suelo son especialmente en su capa superficial y se presentan de manera física, química y biológica. Son estas transformaciones las que se encargan de darle un cambio gradual

y constante al suelo y sus propiedades, así mismo afectan sus principales constituyentes, como son materias sólidas, agua y aire.

El suelo es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, de ahí la necesidad de mantener su productividad, para que a través de él y las prácticas adecuadas se establezca un equilibrio entre la producción de alimentos y el acelerado incremento del índice demográfico.

Gracias al soporte que constituye el suelo es posible la producción de los recursos naturales, por lo cual es necesario comprender las características físicas, químicas y biológicas para propiciar la productividad y el equilibrio ambiental (sustentabilidad).

c) Limitaciones

Durante la presente investigación se considera las siguientes limitaciones:

- La vía de acceso a la zona de estudio, es inaccesible.
- Las muestras de análisis de los insumos llevados al laboratorio son de precios elevados.
- Obtener los permisos y el acceso para la toma de muestras de las localidades en estudio, también son complejos, porque no quieren darnos pase a la zona de estudio.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

En México, en la Universidad de Chapingo. 2007, en el trabajo de tesis titulado: “*Caracterización y comparación de dos perfiles bajo diferente uso del suelo y diagnóstico nutrimental en el área agrícola*”, se concluye que en el sitio agrícola por las características de alto contenido de materia orgánica, con distribución casi homogénea hasta la profundidad estudiada y la presencia de restos de raíces gruesas, se infiere que la vegetación debió ser de bosque de pino abierto con una densidad alta de gramíneas. De acuerdo con los resultados, los contenidos nutrimentales de nitrógeno y potasio en La Loma, son suficientes para alcanzar rendimientos de 5 Ton de grano por hectárea, aunque la eficiencia de absorción del nitrógeno mineralizado es inferior a 100%, por lo que es probable que se requiera de una suplementación moderada con fertilizante nitrogenado. En lo que respecta al fósforo, éste resultó ser el más deficitario; se presenta un déficit de 7 kg/ha de fósforo para alcanzar una producción de granos de 5 ton por hectárea, rendimiento estimado como posible en la región. El fósforo es generalmente bajo en los suelos volcánicos y la eficiencia de uso del fertilizante aplicado, también es baja Hay que agregar aproximadamente

unos 70 kg/ha de fósforo (150 kg/ha de P_2O_5) para lograr una producción de 5 ton/ha de grano. (Terrazas, 2007)

En Chile, en la Universidad de Chile.2008, en la tesis titulada “*Efectividad de biosólidos para la fitoestabilización de relaves mineros, en la comuna de nogales*” sobre la evaluación de la efectividad de los biosólidos para mejorar las características químicas, microbiológicas de suelos en relaves de cobre de la Comuna de Nogales, Región de Valparaíso, sometido a un programa de rehabilitación por fitoestabilización, permite plantear las siguientes conclusiones. La aplicación de biosólidos y de suelo de escarpe ha producido una recuperación, al menos en el corto plazo, de la calidad biológica de los relaves, mostrando un incremento significativo de los parámetros que determinan la actividad de los microorganismos del suelo. Tanto el carbono de la biomasa microbiana como la respiración basal de los tratamientos con aplicación de acondicionadores han sido superiores al control. (Lobos, 2008)

En Chile, en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2009, en el trabajo titulado “*Estudio prospectivo de las principales propiedades químicas de suelos agrícolas cultivados con trigo candeal y maíz en diferentes zonas de Chile*”, se concluye que los resultados de los suelos chilenos cultivados con trigo y maíz desde la zona centro norte hasta el sur mostraron diferencias significativas entre las propiedades químicas evaluadas (pH, MO, N disponible y P extractable, Ca, Mg, K, Na y Al intercambiable). La mayoría de estas propiedades se encuentran dentro del rango adecuado a alto para los principales cultivos agrícolas, y sólo el pH y las concentraciones de Na y Al intercambiable podrían ser limitantes en algunas de las zonas geográficas estudiadas. Por su parte, la profundidad del suelo en la cual cada propiedad química fue analizada, generó diferencias en los contenidos de los siguientes parámetros: MO, N

disponible, P extractable y K intercambiable, cuyos mayores valores fueron encontrados en la primera capa del suelo (0-20cm). (Porta et al, 2003)

En Cajamarca, en la Universidad Nacional de Cajamarca. 1999, en la tesis titulada “*Estudio la fertilidad de suelos de la zona de San Miguel*”. Llegaron a las conclusiones que el estudio de las características y distribución de los suelos, constituye la base para el diseño de diversos sistemas de producción. En este sentido, el presente informe constituye el estudio de suelos y de capacidad de uso mayor de las tierras, que se ha realizado en la Estación Experimental de San Miguel, con el objeto de proporcionar mayores elementos de juicio a los diversos sistemas de producción que se tiene previsto experimentar en esta zona. (Rodríguez et al. 1999)

En la base de datos de la biblioteca de la Universidad Alas Peruanas no se encuentra ningún trabajo relacionado con el título de la presente tesis profesional denominado; estudio de la fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío de Apalina Alta, Cajamarca 2015, por lo que el presente trabajo de investigación sería catalogado como el primer trabajo de esta envergadura.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Ubicación de la zona de estudio

Ubicación: El caserío Apalina Alta, pertenece al centro poblado Yanacancha Grande, distrito la Encañada, provincia de Cajamarca. El caserío La Apalina Alta, muestra una población de 540 habitantes, constituido por 90 familias. (INEI, 2010). Según el recuento oficial que data de abril de 2010. Estas personas conforman el 2.1% de la

población del distrito de la Encañada y representan menos del 0.1% de la población regional. La Apalina Alta se encuentra en la vertiente oriental de la Cordillera Andina, ubicada con dirección en la carretera Chanta Yacancha a Km. 42.5. La Apalina alta pertenece a la cuenca del Rio Rejo Jequetepegue.

Tabla 3. Coordenas de Apalina Alta y Baja

UBICACIÓN	LUGAR	COORDENADAS UTM
Apalina Baja	La Encañada	N 9229781 E 768688
Apalina Alta	La Encañada	N 9232781 E 768688

Fuente: INIA, 2013.

Flora y fauna:

Para satisfacer las necesidades inmediatas de los alimentos o leña muchas veces se sobreexplotan la flora y la fauna sin pensar en su reposición futura. Ello ha puesto en peligro la extinción a muchas especies y animales y vegetales. (INEI, 2010)

La Flora: Según Isidoro Sánchez Vega ha recolectado e identificado en las cuatro microcuencas que conforman el distrito cerca de 256 especies vegetales diferentes. De estas 38 especies son de propiedades medicinales y son usadas por campesinos. En el caso del poroto, palillo, colca, flor azul, lúcuma y pata de gallo. (INEI, 2010)

La Fauna: Así como la flora también se ve afectada por la caza indiscriminada y la destrucción del habitat como muchas especies silvestres. Esta pérdida de dialogo con la naturaleza ha traído como

consecuencia la extinción de muchos animales nativos. Por lo que tiene como animales silvestres como zorros, zorrillos, mono huayguas, conejos, perdices, etc.



Figura 1. Plano de ubicación del Centro poblado Yanacancha Grande.
Fuente: Golear-2016.

Características de los suelos

A partir del mapa de clasificación de suelos, de la provincia de Cajamarca, distrito de Encañada, centro poblado Yanacancha Grande, el caserío Apalina Alta, pertenece a la Zona I del Río LLaucano Rejo, se encuentra sobre la **región litosólica**. Esta corresponde a las vertientes del lado occidental de la Cordillera de los Andes, a una altitud entre los 1000 y 5000 msnm, donde predomina un relieve de gran pendiente y accidentado. Como lo indica su nombre, en esta región predominan los litosoles, propios de áreas con topografía inclinada. Estos son suelos superficiales sobre rocas y con presencia de afloramiento rocosos. En las partes bajas de la región

se encuentran suelos de textura arenosa o regosoles; así como suelos áridos con calcio en el subsuelo, denominados yermosoles cálcicos. En la parte intermedia, se encuentran suelos yermosoleslúvicos, los cuales contienen arcilla y cal. (Bernad & Dorado 2009)

Los suelos del caserío Apalina Alta, pertenecen a la ladera de la Cuenca del Río Rejoy a la Cuenca del Llaucán, estos suelos son “*OxicHaplustoll*so desarrollado sobre un material parental coluvial, la profundidad efectiva varía alrededor de 60 cm; textura media, pH ligeramente ácido, sin carbonatos en el perfil. Presenta contenido medio de M.O. y de N en los horizontes superiores.

En el caserío se reconoce un suelo poco profundo y fácil de arar; algunas zonas presentan una textura arcillosa, mientras que otras tienden más hacia una textura arenosa. Tiene buena productividad cuando se aplica el abono natural. Sin embargo, presenta problemas dependiendo de la estación del año; durante la época húmeda, un exceso en las precipitaciones puede producir erosión del suelo y mientras que en época seca, se presenta una sequedad del suelo.

Actividad agrícola en el caserío Apalina Alta

Contando con una superficie agrícola de 131,38 has, la agricultura es una de las actividades más practicadas por la población, por el 50% aproximadamente, que equivale a 375 personas entre agricultores y trabajadores calificados, explotadores agrícolas y peones de labranza del caserío.

Según datos de Información agrícola distrital de los años 2003 al 2014, los principales cultivos en la zona son papa, el maíz amiláceo y el olluco, pero también se siembran haba grano verde, mashua y oca.

El cultivo que predomina sobre la superficie agrícola es la Cebada gran, con 36 ha para el periodo 2003 – 2014. La apuesta por este cultivo se debe a su mayor resistencia frente a las heladas, y a que su presencia estabiliza la ladera y evita la erosión. Son pocos los agricultores que se arriesgan a sembrar papa, y de hacerlo lo hacen en el mes de octubre. Los riesgos con la papa es que pueden perder su producción debido a condiciones adversas del clima o por plagas, como la gusanera. (INIA, 2013)

Sobre la tenencia de tierras de Apalina Alta, hay quienes tienen sus tierras de cultivo contiguas a sus viviendas, las cuales son tipo huerto, en donde hacen policultivo. Por otro lado, están los que tienen sus parcelas alejadas con siembras de monocultivo, a siete horas caminando hasta algún centro poblado. La extensión de las parcelas individuales no supera las 2 has, y estas son regadas por canales de regadío/acequias o por secano, dependiendo de la época del año. (INIA, 2013)

Tabla 4. Producción de cultivos significativos caserío Apalina Alta

Cultivos significativos	Cajamarca		Encañada		La Apalina Alta	
	Produc	Rendt	Produc	Rendt	Produc Tn	Rendt kg/ha
Maíz choclo	803	7276	5942	8584	1079	564
Papa	4371	9267	3600	8370	1505	655
Trigo	467	912	709	956	150	598
Cebada grano	s.d	s.d	704	912	114	688
Olluco	s.d	s.d	420	19872	s.d	s.d
Maíz amiláceo	s.d	s.d	546	1009	148	671

Fuente: Dirección de Estadística e Informática DAC, 2015.

La actividad ganadera

La mayor crianza se tiene en los estratos de los minifundistas y los pequeños agricultores que se dedican a la ganadería, haciendo como

pequeños productores en conjunto, 53.1% de las Unidades agropecuarias (UA) y 19.0 % de los ovinos. (INEI 2010)

Tabla 5. Ganado ovino del caserío Apalina Alta

UA CON OVINOS	CABEZAS	%
UA SIN TIERRAS	17.34	19
UA CON TIERRAS	47.95	53
MENOS DE 3,0	24.71	27
TOTAL	90	100

Fuente: (INEI 2010).

En comparación a lo censado en los estratos que agrupan a los medianos y grandes agricultores como se aprecia el total de ganado vacuno en el caserío de Apalina Alta. (INEI, 2010)

Tabla 6. Ganado vacuno del caserío Apalina Alta

Ganado Vacuno	Porcentaje
Borregas y borreguillas	60.7
Borregos (machos Reproductores)	25.3
Padrillos	10
Capones	4
TOTAL	100

Fuente: (INEI 2010).

Asociación de productores y ganaderos

En el caserío de Apalina Alta se formó la asociación de productores y ganaderos de gente entusiasta y progresiva del caserío es una Asociación que tiene como giro, actividad, rubro principal cría de ganado. (INIA, 2013)

La actividad asociación de productores agropecuarios (APAE), está integrada por 1815 agricultores en todo el distrito de la Encañada, que

conforman doscientos seis grupos de conservación de suelos. Desde su creación ha ido ganando experiencia en la conservación de los suelos. Debido a su gran potencial organizativo se ha ido involucrando en otras tareas del desarrollo como la activación de grupos en otros sectores del distrito, el desarrollo de diversos temas de importancia productiva y económica.

2.2.2. Recursos Minerales de Apalina Alta

El caserío de Apalina Alta, distrito de la Encañada presenta proyectos mineros de tipo pórfido Cu-Mo-Au. Estos depósitos corresponden a los proyectos de la empresa Yanacocha, Buena Ventura y Banco Mundial, pero el mineral que explotan principalmente las empresas es sólo oro, con unas reservas estimadas de 13.9 millones de onzas, 394,102; 394.11 onzas y con una extinción de 25000 denuncias por hectáreas y 7000 explotadas. Dichos yacimientos mineros comprenden los caseríos de: Pabellón Combayo, Rio Colorado, la Pajuela, La Apalina, Cushurubamba que circundan la zona de estudio.

a. Caracterización de la minería en la región

En el 2010, la región presentó una tasa de pobreza del 49.1%, ubicando a Cajamarca como una de las regiones con más pobreza del país, sin embargo, en el aspecto económico, la región aportó al Producto Bruto Interno (PBI) el 2.3%, teniendo una participación del 8.9% en el PBI de la minería a nivel nacional. La región Cajamarca concentra más del 80% de las reservas probadas y probables de oro fino del Perú; con una cifra de aproximadamente 60 millones de onzas troy, siendo las provincias de Cajamarca y Celendín las que albergan el 79% de las reservas de oro del Perú. (INIA, 2013)

De acuerdo a la “Cartera Estimada de Proyectos Mineros”, publicado en febrero de 2015 por la Dirección de Promoción Minera del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), la inversión estimada a nivel nacional es de US\$ 63,928 millones por los 51 proyectos considerados, donde la inversión estimada para Cajamarca es de US\$ 9,132 millones por los 5 proyectos presentes, siendo el más importante para el sector minero el Proyecto Conga de Minera Yanacocha S.R.L con una inversión de US\$ 4,800 millones. (INIA, 2013)

Mencionado lo anterior, Cajamarca está viviendo una serie de conflictos sociales, relacionados en gran parte a las industrias extractivas que se encuentran asentadas en zonas vulnerables (cabecera de cuenca, áreas naturales protegidas, comunidades indígenas y campesinas). Según el Reporte de Conflictos Sociales N° 131, en enero 2015 de la Defensoría del Pueblo, la región presenta 14 conflictos sociales, donde 12 están activos y 2 se encuentran latentes, de los cuales, 12 son del tipo socio ambiental, estando activos 11 y 1 latente. Las principales mineras involucradas en los conflictos son Minera Yanacocha S.R.L, Compañía Minera Coimolache S.A., Minera Gold Field S.A.A., Shahuindo S.A.C. que pertenece ahora a Tahoe Resources Inc., Minera La Zanja S.R.L., Minera Águila Dorada S.A.C., Minera Troy S.A.C. De esta manera las mineras involucradas en el presente trabajo de investigación apuntan a Minera Yanacocha S.R.L. que constituye el foco del lugar del estudio. (INIA, 2013)

b. Efecto de la empresa Yanacocha S.R.L. en los suelos del caserío Apalina Alta

Un reciente estudio de la Universidad de Barcelona en colaboración con la Universidad Nacional de Cajamarca, encontró niveles elevados de metales pesados en la dieta de los pobladores rurales que viven cerca de la empresa Yanacocha S.R.L. En el estudio participaron los pobladores de Quilshuar Corral, Quilish, Cisne Las Vizcachas, La Apalina, Tual, Hualipampa Baja, La Ramada, Manzana Altos, Porcón Bajo, Huambo Cancha y Combayo.

Según el equipo de investigación, los pobladores de las once comunidades cajamarquinas en estudio, cuya dieta es rica en granos y tubérculos, ingiere diariamente niveles de arsénico, cadmio y plomo que exceden los límites establecidos por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Tabla 7. Detalle de procedencia de los contaminantes

Elemento químico	Fuente	Comunidades cercanas
Arsénico	Proviene del agua y del arroz	La Apalina(Alta y Baja)
		La Shoclla
		Las Lagunas
Cadmio	Proviene de las papas y el arroz	La Apalina(Alta y Baja)
Plomo	Proviene del agua	La Apalina(Alta y Baja)

Fuente: (INIA, 2013).

En la Tabla 7, detalla la procedencia de los contaminantes en la zona de estudios, donde la fuente de arsénico proviene del agua y del arroz; la principal exposición de cadmio proviene de las papas y el arroz; mientras que la de plomo proviene del agua. La

ingesta de arsénico y plomo resulta ser mucho más alta en las poblaciones más cercanas a la mina.

En cuanto al acumulado de arsénico en las muestras de agua y productos alimenticios analizados, se observó mayor incidencia de contaminación en La Pajuela, el lugar donde murieron repentinamente las 18 ovejas. Cabe mencionar que este es el primer estudio que se enfoca en la dieta y riesgo de acumulación de metales pesados en los productos alimenticios de la zona. Antes nadie se había preocupado en evaluar ese riesgo.

Los estudios realizados fueron elaborados por la Universidad Nacional de Cajamarca, se enfocó en los ítems de alimentación, referido a cuánto come una persona de arroz, de fideos, de zanahoria, agua. Se recogieron los alimentos que consume esa población rural y los llevaron a ser analizados con espectrofotometría de emisión atómica especial para el análisis de metales pesados y se los llevo a Barcelona, obteniendo los siguientes resultados:

24 h dietary recall			INEI 2012
Item	% of total intake	g/day	g/day
Water	44	1153.7	–
Potatoes	15.6	408.9	319.2
Milk	6.8	179.6	25.2
Soft drinks	4.4	130.7	99.2
Rice	3.6	94.2	66.8
Bread	2.2	58.2	70.1
Chicken	1.6	42.0	23.3
Onion	1.4	37.3	29.6
Egg	1.3	33.0	13.2
Carrot	1.3	32.8	27.1
Orange	1.1	28.1	19.5
Olluco	1.1	27.9	15.9
Noodles	0.9	23.5	35.3
Cabbage	0.9	23.2	7.9
Apple	0.8	21.9	19.7

Figura 2. Alimentos Analizados en Apalina Alta.
Fuente: (INIA, 2013).

El área investigada comprende las comunidades cercanas a Yanacocha”, como el Caserío de Apalina Baja y Alta. A continuación se indica el ámbito de influencia de la empresa Yanacocha S.R.L. con la zona de estudio (Ver Figura 3)



Figura 3. Ambito de influencia de Yanacocha 2016.
Fuente:(INIA, 2013).

Por más formal que sea una mina, es difícil controlar el impacto que genera sobre el ambiente, los ecosistemas y las comunidades que viven cerca a sus instalaciones.

Respecto al cadmio, los principales contribuidores son las papas y el arroz. Si analizamos la producción de papas se estima un consumo diario de 0,36 a 0,42 $\mu\text{g}/\text{Kg}$, cuando el límite establecido es de 0,35 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ diarios (2,5 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ por semana, según la EFSA).

2.2.3 El suelo

El suelo es un cuerpo natural, no consolidado, compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases, que se caracteriza por tener horizontes o capas diferenciales, resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad. (Sposito 1989)

a. Composición y propiedades del suelo

El suelo constituye un recurso natural de gran importancia, que desempeña funciones en la superficie terrestre como reactor natural y hábitat de organismos, así como soporte de infraestructura y fuente de materiales no renovables. (Sposito 1989)

Propiedades del suelo

Reactor natural: El suelo es un elemento filtrante, amortiguador y transformador, que regula los ciclos del agua y los biogeoquímicos. Tiene la propiedad de retener sustancias mecánicamente o fijarlas por adsorción, contribuyendo a la protección de aguas subterráneas y superficiales contra la penetración de agentes nocivos. (Porta et al. 2003)

Hábitat de organismos y reserva genética: El suelo constituye, junto con el agua, el aire y la luz solar, el fundamento de la vida en los ecosistemas terrestres, alberga una gran diversidad de organismos y microorganismos.

Soporte físico de infraestructura. Por sus características físicas, químicas y mecánicas, el suelo posee propiedades de soporte para el desarrollo de actividades forestales, recreativas y agropecuarias, además de socioeconómicas como vivienda, industria y carreteras, entre otras.

Fuente de materiales no renovables. El suelo es un yacimiento de materias primas, como minerales no metálicos de interés para la construcción (piedra, mármol, caliza, yeso, arena), minerales metálicos (blenda, galena, siderita, pirita) y combustibles fósiles como el petróleo. (Porta et al. 2003)

Fracción mineral: Los componentes minerales constituyen la mayor parte de la estructura de un suelo. En orden de abundancia, los elementos más comúnmente encontrados en los minerales son: O, Si, Al, Fe, C, Ca, K, Na, Mg, Ti.

- **Minerales primarios:** Constituidos principalmente por O y Si y forman silicatos de estructuras Si-O (grava y arena).
- **Minerales secundarios:** Provenientes de procesos de disolución y precipitación, sirven como depósitos de agua, nutrientes y materia orgánica, lo que le confiere la parte activa de un suelo (arcillas).

A continuación se presenta la clasificación de los suelos se función a su tamaño de partícula, en cuatro principales componentes:

Clasificación de suelos en función a su tamaño	
Arcilla	(tamaño de partícula menor a 0.002 mm),
Limo	0.05-2 mm)
Arena	0.002-0.05 mm)
Grava	Partículas mayores a 2 mm).

Tabla 8. Clasificación de suelos en función a su tamaño

Fuente: (Porta et al. 2003)

Las cantidades relativas de cada tipo de partícula mineral determinan la textura de un suelo y tienen un impacto directo sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas. (Porta et al. 2003)

Fracción orgánica: La fracción orgánica de los suelos está constituida por desechos vegetales y animales, además de cantidades variables de materia orgánica amorfa llamada humus. La mayoría de los suelos, en general, tiene un contenido de materia orgánica entre 0.5 y 5%.

Fracción agua/gases: Los espacios, o poros, que hay entre partículas sólidas del suelo, contienen agua y aire. El agua es el principal componente líquido de los suelos y contiene sustancias minerales, oxígeno (O₂) y bióxido de carbono (CO₂) en disolución, mientras que la fase gaseosa en los suelos está constituida por aire. El arreglo de estos horizontes en un suelo se conoce como un perfil edáfico o perfil del suelo que a continuación se exponen:

- **Horizontes de los suelos**

Los suelos son heterogéneos que se diferencian por el color, la textura, la estructura. La ordenación vertical de los horizontes

de un suelo se denomina perfil del suelo. En un suelo maduro o formado, se observan cuatro horizontes:

Horizonte A: Es la parte del suelo que se cultiva. Se caracteriza por tener un color oscuro, debido a la gran cantidad de materia orgánica que contiene. Se puede hablar de un horizonte A0 si aparece una capa fina, formada por materia orgánica sin alterar o parcialmente alterada. Se pueden observar restos de animales, hojas, ramas, excrementos.

Horizonte B: Es de color más claro, debido a que en este tramo del suelo precipitan las sales arrastradas del horizonte superior.

Horizonte C: Formado por fragmentos de la roca madre, más o menos grandes, rodeados de partículas finas que pueden provenir de los horizontes superiores.

Horizonte D: Formado por la roca madre sin alterar.

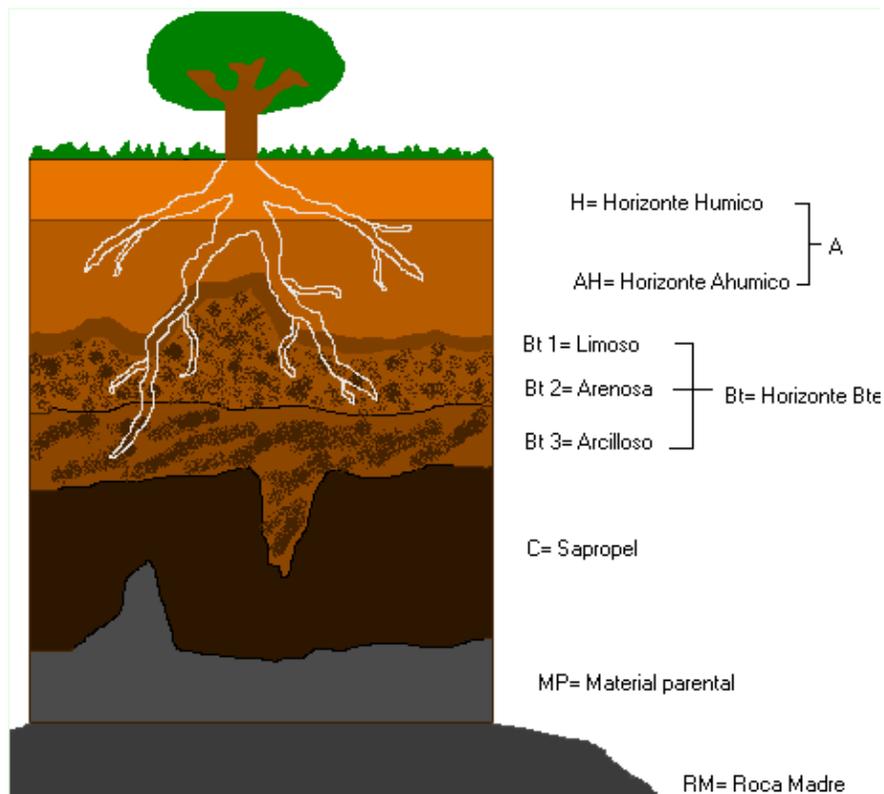


Figura 4. Horizontes del suelo
Fuente: (Porta et al. 2003)

b. Tipos de suelo

Los tipos de suelos se clasifican de dos maneras: una es según la función del suelo y la otra es según las características del suelo:

Tipos de suelo según su funcionalidad:

Suelos arenosos: Son aquellos suelos que no retienen el agua, al poseer poca materia orgánica no son aptos para la agricultura.

Suelos calizos: En estos suelos abundan las sales calcáreas, suelen ser de color blanco, árido y seco, por ende no son buenos para la agricultura.

Suelos humíferos (también llamados tierra negra): son aquellos que posee gran cantidad de materia orgánica en descomposición, retienen el agua y por lo tanto son excelentes para cultivar.

Suelos arcillosos: estos suelos están formados por pequeños granos finos de color amarillo y retienen el agua en charcos. Mezclados con humus pueden resultar muy efectivos para la agricultura.

Suelos pedregosos: formas por toda clase de rocas y piedras, al no retener el agua resultan pésimos para cultivar.

Suelos mixtos: una mezcla del suelo arenoso y del suelo arcilloso.

Tabla 9. Clasificación internacional de suelos

Categoría	Características	Superficie ocupada	
		km2	%
Leptosoles	Suelos muy delgados (espesor < 30 cm) sobre roca dura	467,978	23.9
Regosoles	Suelos en formación a partir de material consolidado (roca madre)	361,335	18.5
Calcisoles	Suelos con alto contenido de calcio (CaCO ₃) Suelos saturados de bases, hasta 125 cm	355,475	18.2
Feozems	Muy fértiles. Presentan una superficie oscura	189,457	9.7
Vertisoles	Suelos con alto contenido de arcilla (> 35%) hasta ~50 cm	162,112	8.3
Arenosoles	Suelos con alto contenido de arena hasta ~125 cm	121,096	6.2
Cambisoles	Suelos poco desarrollados de color claro, presentan cambios de estructura o consistencia por intemperización	91,799	4.7
Luvisoles	Suelos con arcillas, saturados en bases (alta CIC)*, en cualquier clima, excepto tropical y subtropical	46,876	2.4
Gleysoles	Suelos con saturación de agua permanente	29,297	1.5
Alisoles	Suelos con alto contenido de aluminio, sólo se encuentran en climas tropicales y subtropicales	29,297	1.5
Otras		98,440	5.0
Total		1,953,162	100.0

* CIC: capacidad de intercambio catiónico

Fuente: (PRONAMACHCS, 2010).

2.2.4 Fertilidad del suelo

La fertilidad de suelo es una disciplina científica que integra básicamente los principios de la biología, la química y la física del suelo para desarrollar las prácticas de manejo de los nutrientes de una manera que resulte provechosa y ambientalmente sana. Como primer principio menciona que históricamente, el estudio de la fertilidad de suelo se ha centrado en los niveles nutrimentales para crear las condiciones óptimas de manejo del suelo para el crecimiento vegetal. (Poma & Alcántara 2011)

La fertilidad es la cualidad con la que cuenta el suelo para el abastecimiento de nutrientes en cantidades apropiadas y en un balance adecuado que permita el desarrollo de la vegetación, así como la relación adecuada de los sólidos, aire y agua para su crecimiento. Está determinada por dos conjuntos de factores: naturales y Técnicos. (Valencia, 2000)

Dentro de los factores naturales se consideran a las condiciones climáticas del medio (insolación, temperatura, vientos y su intensidad, precipitaciones, etc.); y a las características edáficas inherentes del suelo, centro de la presente investigación. Los factores técnicos involucran aquellos aspectos sobre los que el hombre tiene acción; por ejemplo, la instalación de un sistema de irrigación y de drenaje, el sistema de labranza y cultivo, mejora del suelo a través de agroquímicos, la protección frente a las heladas, entre otros. (Gallegos, 1997)

a. Evaluación de la fertilidad del suelo

El propósito fundamental de la evaluación de la fertilidad del suelo ha sido siempre cuantificar la capacidad de proveer los nutrimentos requeridos para el crecimiento vegetal óptimo. Básicamente, la fertilidad de suelo es evaluada por las observaciones y pruebas que se utilizan para predecir la respuesta de las plantas y del ambiente, al manejo de nutrientes.

Para la evaluación de la fertilidad de suelo se dispone de técnicas de diagnóstico del campo y del laboratorio y de una serie de modelos empíricos y teóricos para relacionar cuantitativamente los indicadores de la fertilidad de suelo con la respuesta de la planta. Las técnicas de diagnóstico incluyen pruebas químicas y biológicas del suelo, observaciones visuales del crecimiento vegetal y el análisis químico de los tejidos finos de planta. (Gallegos, 1997)

b. Fertilidad natural

La fertilidad del suelo puede ser definida como la capacidad del suelo para suministrar a las plantas agua y nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Los factores que determinan la fertilidad se pueden clasificar en:

- **Físicos:** Condicionan el desarrollo del sistema radicular, y su aporte hídrico. La fertilidad física se identifica por: textura, estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención hídrica, estabilidad de agregados, etc.

- **Químicos:** Hace referencia a la reserva de nutrientes y su aporte a las plantas. Se caracteriza por: capacidad de cambio de cationes, pH, materia orgánica, macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (B, Fe, Mo, Mn, Zn, Cu, Na y Cl), % de saturación de bases, potasio meq/100g, Fósforo ppm, y sus formas químicas en el suelo que condicionan su biodisponibilidad.
- **Biológicos:** Determinados por la actividad de los microorganismos del suelo. La microflora del suelo utiliza la materia orgánica como sustrato y fuente de energía, interviniendo en la producción de enzimas, ciclo de C y de N, transformaciones biológicas de nutrientes y procesos de humificación y mineralización.

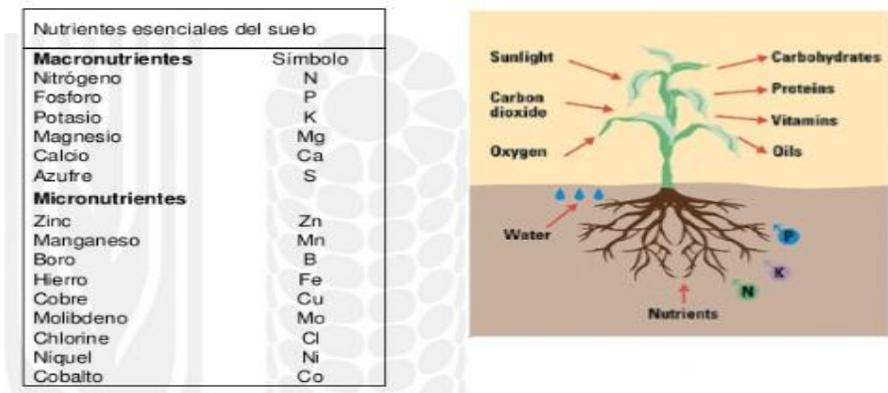


Figura 5. Fertilidad del suelo
Fuente: Adaptado de USDA

c. Clasificación de un suelo natural

El suelo es el medio para el crecimiento de la planta. Proporciona nutrientes, agua y anclaje a las plantas en crecimiento. La mantención de condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas en el suelo, es necesaria para lograr mayor

crecimiento, rendimiento y calidad de la caña de azúcar. La caña de azúcar no exige ningún tipo específico de suelo y puede ser cultivada exitosamente en diversos tipos de suelo, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos.

Las condiciones ideales de suelo para el cultivo son: suelo bien drenado, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm³ (1.3 - 1.4 g/cm³ en suelos arenosos), con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos tamaños, con porosidad total superior al 50%; una capa freática bajo los 1.5 a 2 m desde la superficie y una capacidad de retención de la humedad disponible del 15% o superior (15 cm por metro de profundidad del suelo). (Gallegos, 1997)

El pH óptimo del suelo es cercano a 6.5, con un rango considerable de acidez y alcalinidad del suelo. Por lo que se cultiva en suelos con pH entre 5.0 y 8.5. El análisis del suelo es recomendable para determinar la cantidad óptima de aplicación de macro y micronutrientes. Las restricciones químicas en los suelos, tales como la acidez y una baja fertilidad, son relativamente fáciles de corregir o controlar. (Gallegos, 1997)

Malas condiciones físicas, tales como la compactación del suelo debido a la intensa mecanización requerida para el encalado, son mucho más difíciles de corregir. Por esta razón, las propiedades físicas del suelo son consideradas como un factor en el crecimiento. Por la fertilidad natural del suelo se clasifica en tres etapas (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Clasificación de Fertilidad natural del suelo.

Fertilidad Natural Alta		
Profundidad efectiva	Profundo	75 al 100%
Textura de la tierra	Arcilloso	85 al 100%
Alivio	Plano	65 al 100%
Fertilidad	Alto	78.90%
Drenaje	Bueno	> 100%
restricciones a mecanización	Ausente	0.00%
Susceptibilidad a la erosión	Bajo	0.11%
Fertilidad Natural Media		
Profundidad efectiva	Profundo	40 a 75%
Textura de la tierra	Arcilloso	55 a 85%
Alivio	Plano	45 a 65%
Fertilidad	Alto	58.90%
Drenaje	Bueno	> 55%
restricciones a mecanización	Media	0.35%
Susceptibilidad a la erosión	Media	0.11%
Fertilidad Natural Baja		
Profundidad efectiva	Profundo	15 a 40%
Textura de la tierra	Arcilloso	15 a 35%
Alivio	Plano	20 a 45%
Fertilidad	Alto	28.90%
Drenaje	Bueno	> 15%
restricciones a mecanización	Alta	0.55%
Susceptibilidad a la erosión	Alta	0.11%

Fuente: (Gallegos, 1997).

2.2.5 Propiedades edáficas para la fertilidad

La cualidad fértil del suelo es resultado de la interacción entre sus propiedades edáficas, las cuales se clasifican en tres tipos: físicas,

químicas y biológicas. El presente trabajo de investigación sólo aborda las propiedades físicas y químicas.

2.2.5.1 Propiedades físicas:

Las principales propiedades físicas del suelo son el color, la textura, la estructura y las relacionadas con la capacidad de retención de agua en el suelo, las cuales se manifiestan en el comportamiento mecánico del suelo y son expresión del balance existente entre los componentes tenemos:

Entre las más determinantes están: las partículas, el contenido de agua y de aire. (Olguín, 2011)

a. Textura: Se refiere a la proporción relativa en que se encuentran las clases de partículas con diámetro menor a 2 mm en un volumen de suelo dado. Se reconocen tres clases principales de partículas. (Olguín, 2011)

Tabla 11. Descripción de clases de partículas del suelo (USDA simple)

Partícula	Diámetro	Descripción
Arena	2,00–0,05 mm	Sus partículas individuales son observables a simple vista. Por su gran tamaño y forma irregular, el contacto entre partículas de arena es limitado, lo que dificulta la formación de agregados estables en el suelo.
Limo	0,05 –0,002 mm	Su tamaño hace que sean observables al microscopio. Por la combinación de su área superficial y el tamaño de sus poros, esta partícula tiene la más alta capacidad retentiva de agua disponible.
Arcilla	<0,0002mm	Son observables solo a través de microscopios Electrónicos. Cuando se humedecen, forman agregados que al secarse son bastante duros. El grado de cohesión y adhesión varía según la clase de arcilla; cuanto más fina, más duro el terrón que se forma.

Fuente: (Olguín, 2011).

Según sus porcentajes relativos de arena, limo y arcilla, los suelos se han agrupado en 12 clases texturales. Cada clase presenta un suelo con comportamiento físico, químico y mecánico distinto por lo que se considera a los diferentes tipos de suelo como:

- **Suelo arenoso o de textura gruesa:** A partir de 44% de arena, y su característica es presentar una elevada infiltración de agua; por ende, una escasa capacidad de retención hídrica.
- **Suelo es arcilloso o de textura fina:** Con tan solo 20% de arcilla, y se caracteriza por retener gran cantidad de agua, pero que al secarse forma una capa dura e impermeable, que impide una adecuada infiltración.
- **Suelo franco o de textura media:** Considera la textura ideal, sobre todo para tierras de cultivo; esta textura se refiere a un suelo donde las tres fracciones están en equilibrio, con un 40–45 % de arena, un 30–35 % de limo y un 25 % de arcilla. (Funach, 2010)

Las clases texturales están representadas en el triángulo textural, el orden de los términos refleja la fracción o las fracciones predominantes en el suelo. Los porcentajes de las tres partículas se determinan en laboratorio a través del análisis granulométrico, el cual consiste en un proceso de segregación de las tres fracciones principales. Los valores obtenidos se ubican en el eje de la fracción

correspondiente en el triángulo textural, y se proyectan según las líneas guías al interior. La clase en la que queda comprendido el punto de intersección de las tres líneas es la clase textural del suelo analizado. (Funach, 2010)

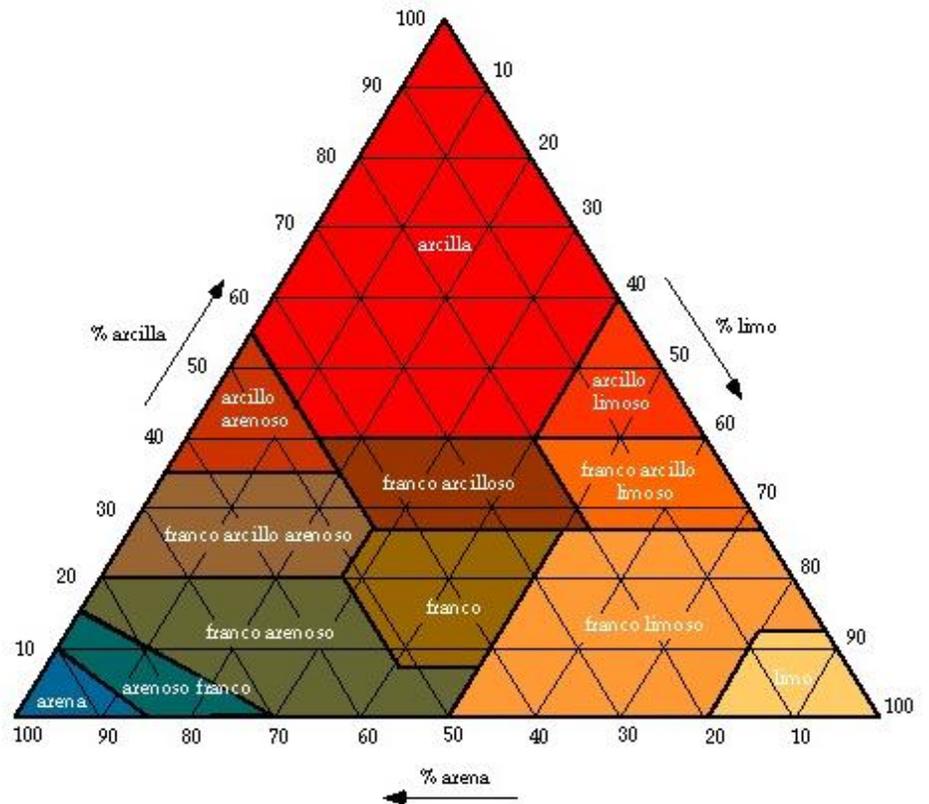


Figura 6. Triángulo de las clases texturales del suelo.
Fuente: (Funach, 2010)

- b. Densidad aparente (D.A.):** La densidad de un cuerpo se define como la masa por unidad de volumen. El suelo, por ser un material poroso, presenta dos densidades: densidad real y densidad aparente.

La densidad real (D.R.): es la densidad media solo de las partículas del suelo en la fase sólida. Su valor es estable y varía entre 2,6 a 2,7 g/cm³ para todos los suelos, en la mayoría su composición mineral es constante. (Casanova, 2010)

La densidad aparente (D.A.) considera tanto la masa de la fase sólida como su forma de organización; esto es el volumen ocupado por los poros, su valor es variable y va a depender de la soltura del suelo, así como de la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura del suelo. (Casanova, 2010)

Las fórmulas que expresan ambas densidades son las siguientes:

$$D. A = \frac{MS}{Vt}$$

Dónde:

Ms = masa de sólidos

Vs = volumen de sólidos

Vt = volumen total

$$D. R = \frac{MS}{Vs}$$

Un suelo de condiciones porosas presenta valores de D.A. por debajo de 1,3 g/cm³. Según la clase textural del suelo, se ha estimado un rango de D.A. ideal (Ver Tabla 12).

Tabla 12: Clases texturales del suelo -densidad aparente

Clase Textural	D.A. (g/cm ³)
Arenosa	1,60 – 1,70
Areno francos	1,55 – 1,70
Franco arenoso	1,50 – 1,60
Franco	1,45 – 1,55
Franco limoso	1,45 – 1,55
Limoso	1,40 – 1,50
Franco arcillo arenosa	1,45 – 1,55
Franco arcillosa	1,40 – 1,50
Franco arcillo limosa	1,45 – 1,55
Arcillo arenosa	1,35 – 1,45
Arcilla limosa	1,40 – 1,50
Arcilla	1,25 – 1,45

Fuente: Adaptado de USDA, "General Guide for Estimating Moist Bulk Density"

Según el valor de D.A., se puede estimar el grado de compactación de un suelo, cuya relación es directamente proporcional. Un suelo recién preparado para el periodo de siembra tendrá valores más bajos de D.A.; mientras que el mismo suelo, pero en tiempo de cosechas, presentará valores más altos. Presentar valores muy altos es indicador de un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, con muy poca aireación y con escasa capacidad de infiltración del agua por el fuerte grado de compactación que tiene. (Casanova, 2010)

2.2.5.2 Propiedades químicas

Estas propiedades participan en el aporte de los nutrientes en el suelo. (Funach, 2010)

- a. **Potencial de hidrógeno (pH):** Se refiere al grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo, dado por la proporción de iones de hidrógeno (H⁺) y de oxidrilos (OH). Químicamente, se define como el logaritmo del inverso de la actividad de iones de hidrógeno (H⁺), bajo la forma de hidronio (H₃O⁺),

presentes en la solución suelo; se expresa mediante la siguiente fórmula, (Funach, 2010):

$$\text{pH} = \log \frac{1}{\text{H}_3\text{O}^+} = -\text{LogH}_3\text{O}^+$$

El pH revela la concentración de iones H^+ y OH^- . Cuando hay mayor presencia de H^+ , la reacción del suelo es ácida, con pH menor a 7; mientras que con mayor presencia de OH^- , la reacción es alcalina, con pH mayor a 7; si la concentración de ambos iones está en proporciones iguales, la reacción es neutra, y el pH es igual a 7. (Funach, 2010)

La escala del pH va de 0 a 14 a 25 °C; no obstante, el rango de pH en los suelos en condiciones naturales no alcanza los valores extremos, sino que varía entre 3.5 a 9.0. (Funach, 2010)

El sistema USDA ha propuesto la siguiente clasificación para los valores de pH determinados en una solución extracto de suelo, cuya relación suelo: agua está en proporción 1:1 (Ver Tabla 13).

Tabla 13: Calificación del pH del suelo (USDA)

Valor	Clasificación
<3.5	Ultra ácido
3.5 – 4.4	Extremadamente ácido
4.5. – 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9.0	Fuertemente alcalino
>9.0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Funach, 2010.

El pH controla la disponibilidad de los nutrientes; e, indirectamente, el pH tiene influencia sobre los procesos biológicos y la actividad microbiana. La mayoría de los cultivos se desarrollan adecuadamente en un suelo con pH entre 5,5 y 7,0, al estar disponibles muchos de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. (Funach, 2010)

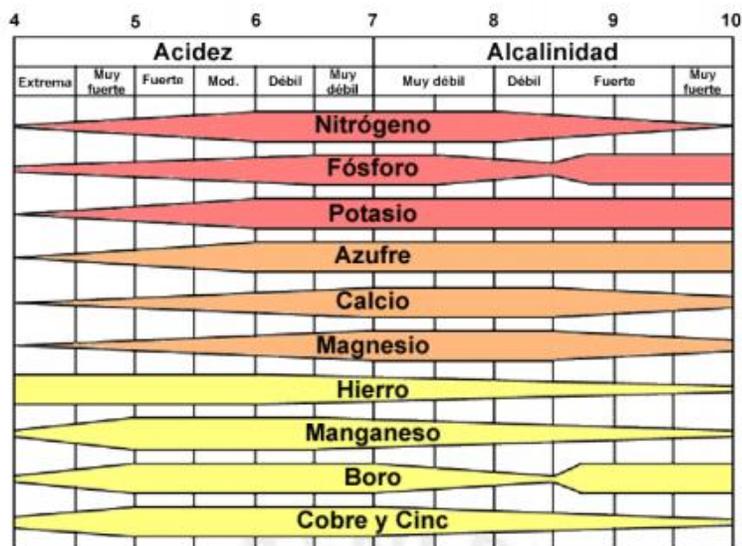


Figura 7: pH y disponibilidad de nutrientes

Fuente: (Funach, 2010)

La tendencia ácida o alcalina se tiene una idea de los iones presentes en el suelo. En suelos ácidos, se encuentran Al^{+3} , Fe^{+3} y Mn^{+4} , mientras que en suelos alcalinos, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} y K^{+} ; la acidez o alcalinidad está relacionada con las condiciones de pluviometría.

b. Conductividad eléctrica (C.E.): Mide la habilidad de la solución suelo para transportar la corriente eléctrica. Los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} y NH_4^{+}) y aniones (SO_4^{2-} , Cl^{-} y HCO_3^{-}), que resultaron de las sales disueltas en el agua del suelo.

La concentración de iones determina la C.E. del suelo, que es la medida de salinidad del suelo. La presencia de estas sales interfiere en el intercambio de iones, resultando en una deficiencia nutricional para el crecimiento de las plantas; por ello, lo mejor es tener un suelo con baja cantidad de sales. (Funach, 2010)

El sistema USDA ha propuesto la siguiente clasificación para la C.E. determinada en una solución extracto de suelo a 25 °C, cuya relación suelo: agua está en proporción 1:1. Los valores son expresados en deciSiemens por metro (dS/m). Un suelo se considera salino a partir de 2dS/m.

Tabla 14: Clase de salinidad en función de la C.E. del suelo

C.E. (dS/m)	CALIFICACIÓN
0 – 2	No salino
2 – 4	Muy ligeramente salino
4 – 8	Ligeramente salino
8 – 16	Moderadamente salino
>16	Fuertemente salino

Fuente: Adaptado de USDA.

Contenido de macronutrientes: Las plantas necesitan de un conjunto de nutrientes para su desarrollo. Como elementos que son requeridos en grandes cantidades, sobre los 500 ppm, llamados macronutrientes; mientras que otros son requeridos en menor cantidad, usualmente menos de 50 ppm, llamados micronutrientes. Son tres macronutrientes principales que determinan la fertilidad del suelo:

- **Nitrógeno (N):** Promueve el desarrollo de las hojas y el crecimiento de brotes. Se presenta en el protoplasma celular y constituye las proteínas, clorofila, nucleótidos, alcaloides, enzimas, hormonas y vitaminas. Asimismo, el nitrógeno es alimento de los microorganismos del suelo, lo que favorece a la descomposición de la materia orgánica por un proceso de desnitrificación. (Funach, 2010)

Tabla 15: Interpretación de análisis de nitrógeno total (%)

CALIFICACIÓN	N (%)
Extremadamente pobre	<0,032
Pobre	0,032 – 0,063
Medianamente pobre	0,064 – 0,095
Medio	0,096 – 0,126
Medianamente rico	0,127 – 0,158
Rico	0,159 – 0,221
Extremadamente rico	>0,221

Fuente: (Bornemisza, 1982)

- **Fósforo (P):** Contribuye a la formación de las raíces, frutos y semillas, y a la floración. Es constituyente de la célula viva, nucleótidos, lecitinas y enzimas. Este elemento participa en las transferencias de energía. El P existe en la solución del suelo como ion ortofosfato: H_2PO_4 en condiciones ácidas, y HPO_4 en condiciones

alcalinas. Las formas disponibles para la disposición de las plantas representan solo una pequeña fracción del P total contenido en la solución del suelo. (Rodríguez et al, 1999)

- **Potasio (K):** Favorece la resistencia de la planta frente a las enfermedades y eventos climáticos extremos, como son la sequía y las heladas. Participa en la fotosíntesis, en la síntesis de las proteínas y en la activación de las enzimas; incluso, mejora la calidad del fruto. El contenido total de K en el suelo a exceder los 20 000 ppm, pero gran parte se encuentra como componente estructural de los suelos minerales, no siendo asimilables por las plantas. El K disponible es el que se encuentra disuelto en la solución del suelo, y en los sitios de intercambio en la superficie de las partículas de arcilla. (Bornemisza, 1982)

Tabla 16: Interpretación de análisis de P, K

CALIFICACIÓN	N (%)	K(ppm)
Bajo	<7	<100
Medio	7-14	100-200
Alto	>14	>200

Fuente: Bornemisza, 1982

Los tres elementos mencionados constituyen la composición del *abono natural*; de haber déficit en alguno de ellos o en porcentajes bajos, el suelo ya no puede ser considerado como fértil desde el punto de vista químico (Ver Tabla 15 y Tabla 16).

- **Materia orgánica (M.O.):** Son todos los residuos de origen animal y vegetal descompuestos por los microorganismos del suelo. Las plantas son fuente principal de materia orgánica, y su calidad y cantidad está en función del tipo de vegetación. La presencia de ella se mide en porcentaje, y constituye un almacén de energía y de alimento disponible. Cada una de las propiedades mencionadas tiene un aporte importante para la fertilidad. (Bornemisza, 1982)

2.2.6 Contaminación de suelos por metales y metaloides

Los principales logros minerometalúrgicos de la humanidad, pueden incluirse varias eras: piedra (Paleolítico, Mesolítico, Neolítico); cobre (6000 a.C.); bronce (2500 a.C.); hierro (1000 a.C.); carbón (1600 d.C.); revolución industrial (1750-1850 d.C.); petróleo (1850 d.C.); eléctrica (1875 d.C.) y atómica (1945 d.C.) han utilizado recursos líticos para su desarrollo, fragmentos de rocas o minerales con la evolución continua y el conocimiento de diversos procesos, inventaron la metalurgia.

Actualmente, el desarrollo de nuevas tecnologías depende de los elementos que se obtienen por actividades minerometalúrgicas. La excavación de minas, la remoción de minerales puede causar daños ambientales y destruir el ecosistema; por ejemplo, se pueden dañar tierras de cultivo, favorecer la erosión y contaminar cuerpos de agua con sales solubles de elementos potencialmente tóxicos (EPT), como As, Se, Pb, Cd y óxidos de S, entre otros. (Bernad & Dorado 2009).

Con base en lo anterior, en las siguientes secciones se describen los es procesos que generan la contaminación de suelos por EPT:

a. Principales fuentes de contaminación:

El impacto de la minería sobre el ambiente y la salud se relaciona con la composición del mineral, el tipo de explotación, la composición de los residuos varía de acuerdo con las condiciones particulares de cada mina. (Contreras, 2005)

Algunas otras fuentes, subestimadas, que generan la contaminación por metales y metaloides son:

Tabla 17. Interrelaciones de la actividad minera con el ambiente

Etapa	Descripción	Impacto al ambiente
Prospección	Estudios de gravimetría, geología superficial, densidad, etc.	Procedimientos que no generan impactos ambientales significativos
Exploración	Barrenación, obras y perforaciones, construcción de caminos, instalación de campamentos	Dstrucción de la vegetación
Explotación y beneficio	Descapote: eliminación de suelo y vegetación Construcción y obras diversas, Alto consumo de agua Acumulación de material sin valor en terreros Transporte del material con valor hacia molinos, extracción y concentración de minerales Reducción del tamaño del mineral por trituración y molienda.	Dstrucción de la capa del suelo y la vegetación Afectación a cuerpos de agua, Generación de terreros inestables, y arrastres de residuos Oxidación de minerales insolubles y formación de sustancias solubles con alto contenido de metales (drenaje ácido) Descarga de lixiviados que contienen iones metálicos y reactivos tóxicos. La trituración y molienda provoca ruido, vibración y emisión de polvo
Fundición y refinación	Obtención de metales y sus aleaciones con el uso de hornos industriales. Eliminación de impurezas en los metales para alcanzar una alta ley de contenido	Generación de aguas residuales, residuos peligrosos, emisiones a la atmósfera

Fuente: (Contreras, 2005).

b. Características de un contaminante

Previo a la selección de una técnica de remediación es importante obtener información del contaminante así como el tipo de contaminante (orgánico e inorgánico) la concentración, toxicidad, movilidad dentro del medio, etc. Algunas de las características del contaminante son:

Estructura del contaminante.- Todos los compuestos químicos tienen características únicas que establecen el grado de movimiento y la capacidad de degradarse, su estructura química determina su solubilidad, volatilidad, polaridad, y la capacidad de reacción. (Contreras, 2005)

Toxicidad: La toxicidad para los seres vivos es un factor importante para decidir el tipo de tratamiento de remediación, aunque el contaminante en sí no sea tóxico, algunos de sus componentes pueden ser tóxicos para ciertos microorganismos, retardando o impidiendo la biodegradación. (Contreras, 2005)

Concentración: La concentración determina si el suelo contaminado puede remediarse con el uso de tratamientos.

Solubilidad: Esta característica determina la disponibilidad de los compuestos en su fase líquida es decir la cantidad del compuesto que puede disolverse en agua por lo tanto la biodegradabilidad de un compuesto depende de la solubilidad.

Difusión: Está definida como la capacidad de movimiento que tiene el contaminante a través del suelo, la difusión determina el grado de degradación. (Contreras, 2005)

Volatilización: Es el proceso en el que una sustancia pasa de su estado líquido a su estado sólido o gaseoso, la volatilización depende del tipo de contaminante, contenido de humedad, temperatura, concentración y porosidad del suelo.

Densidad: La densidad determina la tendencia del contaminante a quedarse en la superficie del suelo o de penetrar en el mismo.

Biodegradabilidad: Es la predisposición de una sustancia para ser transformado por medio de mecanismos biológicos.

c. Metales pesados

Metal pesado es aquel elemento metálico que presenta una densidad superior a 5 g/cm^3 , o se los conoce por ser elementos metálicos o metaloides, de mayor o menor densidad. Algunos de ellos son esenciales para los organismos en pequeñas cantidades, como el Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni o Mo, y se vuelven nocivos cuando se presentan en concentraciones elevadas, mientras que otros no desempeñan ninguna función biológica y resultan altamente tóxicos, como el Cd, Hg o el Pb.

La dinámica y disponibilidad de los metales están influenciadas por las condiciones físico químicas del suelo en el que se encuentran el pH y el potencial redox, mientras que los constituyentes orgánicos e inorgánicos del suelo son los que en gran medida condicionan los mecanismos de retención de metales por adsorción, complejación y precipitación. Asimismo, las plantas y los microorganismos (bacterias y hongos) del suelo también pueden interactuar con los metales mediante mecanismos de extracción, estabilización, biosorción,

bioacumulación, biomineralización y biotransformación. En cualquier caso, es importante resaltar que los metales tóxicos en los suelos no pueden ser destruidos sino sólo neutralizados y que pequeñas variaciones en las condiciones del medio edáfico pueden liberar los metales insolubilizados, por lo que es necesario realizar un seguimiento en profundidad de la distribución de estos contaminantes en el suelo, especialmente de los más tóxicos. (Contreras, 2005)



Figura 8. Suelos contaminados, por metales pesados
Fuente: (Contreras, 2005)

d. Lluvias acidas

Consisten en deposiciones húmedas (agua de lluvia, nieve y niebla) o secas (gases o partículas sólidas) de la atmósfera constituidas principalmente por SO_2 y óxidos de nitrógeno, NO_x , que provienen de actividades industriales, como las emisiones de centrales térmicas y las producidas por la combustión de hidrocarburos, la desnitrificación de fertilizantes añadidos en exceso a los suelos. Los óxidos de azufre y nitrógeno así emitidos a la atmósfera reaccionan con el agua y el oxígeno, dando lugar a soluciones diluidas de ácido sulfúrico y nítrico que se van depositando sobre los suelos, plantas, árboles, ríos, lagos, etc. Las consecuencias de estas deposiciones se reflejan en un aumento de la acidez de los suelos y las aguas, un incremento de la movilidad de iones y metales pesados, la solubilización y movilización del Al y la materia orgánica y, en definitiva, el descenso de la capacidad de los suelos para neutralizar ácidos. En este sentido, los suelos presentarán distinta sensibilidad al impacto de las deposiciones ácidas en función de su poder de amortiguación para contrarrestar la acidez, los *suelos más sensibles* a las lluvias ácidas serán los desarrollados en *zonas frías*, con valores bajos de capacidad de intercambio catiónico y grado de saturación y pobres en formas de Al y Fe. (Contreras, 2005)

e. Salinización

Es el resultado de la acumulación en el suelo de sales más solubles que el yeso que se refleja en un incremento en la conductividad eléctrica de la solución del suelo que tiene efectos adversos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y

dificulta el crecimiento y la productividad vegetal. Los suelos afectados por este proceso se denominan suelos salinos y en ellos el Ca y el Mg son los cationes predominantes en el complejo de cambio. En el caso específico de que sea el Na el catión predominante en el complejo de cambio se habla de suelos sódicos, en los que esta acumulación de Na produce una alcalinización que da lugar a la dispersión de las arcillas y la materia orgánica y a la destrucción de la estructura del suelo. Los principales tipos de sales que se encuentran en suelos salinos son cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, y nitratos. Para que se produzca esta acumulación de sales en el suelo es necesario que haya un fuerte aporte de sales y que su eliminación del suelo esté impedida por algún mecanismo, como malas condiciones de drenaje y lavado. (Funach, 2010)



Figura 9. Efecto de las lluvias acidas en los suelos
Fuente: (Contreras, 2005)

f. Explotaciones mineras

Las actividades mineras provocan generalmente grandes impactos ambientales, con destrucción de los suelos naturales y creación de nuevos suelos (Antrosoles) que presentan fuertes limitaciones físicas, químicas y biológicas que dificultan la reinstalación de vegetación. Las consecuencias negativas se reflejan fundamentalmente en una destrucción de la estructura del suelo y una modificación de sus características texturales, frecuentemente una disminución de la fracción arcilla a favor de fracciones más gruesas; una acidificación asociada a los procesos de oxidación que favorece la movilización de especies químicas tóxicas limitantes de la actividad biológica; la decapitación de los horizontes superficiales biológicamente activos, que conlleva la ruptura de los ciclos biogeoquímicos y la dificultad de enraizamiento; y una disminución de la capacidad de cambio y de la retención de agua en el suelo como consecuencia de la escasez de materia orgánica y arcilla. (Contreras, 2005)

2.2.7 Recuperación de suelos contaminados

Para recuperar los suelos se distingue tres técnicas: *Técnicas de contención*, *técnicas de confinamiento*, y *técnicas de descontaminación*, dirigidas a disminuir la concentración de los contaminantes en el suelo, las cuales se describen a continuación:

a. Técnicas de contención

Las técnicas de contención se emplean para prevenir o reducir significativamente la migración de los contaminantes orgánicos e inorgánicos en suelos y aguas subterráneas. No requieren la excavación del suelo y son típicamente de bajo coste, aunque sí necesitan de inspecciones periódicas.

Tabla 18 Técnicas de contención recuperación de suelos contaminados

Técnicas de contención		
Nº	Técnicas	Características
1	Barreras verticales	Se emplean <i>in situ</i> con objeto de reducir los movimientos laterales de los contaminantes, ya sea a través de lixiviados o por disolución en las aguas subterráneas. Incluyen la instalación de muros pantalla, que requieren la excavación en el suelo de zanjas profundas de hasta 100 m que son rellenadas de material aislante como mezclas de cemento y bentonita u hormigón. Estas técnicas de contención vertical se aplican de forma óptima en suelos de textura gruesa no muy compactados, aunque en el caso de los muros pantalla la presencia de grandes bloques puede dificultar las labores de excavación.
2	Barreras horizontales	Son zanjas o sondeos horizontales <i>in situ</i> que se rellenan con material sellante cuya aplicación está actualmente en desarrollo, sin demostrarse aún si son efectivas, aunque podrían ser potencialmente útiles para restringir el movimiento vertical de contaminantes metálicos sin necesidad de recurrir a la excavación del terreno (Mulligan <i>et al.</i> , 2001a).
3	Barreras de suelo seco	Se basa en la desecación del suelo para aumentar su capacidad de retención de sustancias contaminantes líquidas, impidiendo así su migración hacia los reservorios de agua subterránea. Implica el uso de un entramado de pozos verticales u horizontales por los que se hace fluir aire seco hasta la zona problema.
4	Sellado superficial	Su finalidad es evitar la exposición directa del suelo a la contaminación, limitar la infiltración de agua de lluvia en el suelo contaminado y controlar la volatilización de ciertos contaminantes a la atmósfera. La superficie del suelo se puede sellar <i>in situ</i> con materiales naturales que reducen la permeabilidad, como la bentonita, sola o combinada con un material geotextil; con aglomerados asfálticos u hormigones y con láminas sintéticas fabricadas con materiales termoplásticos.
5	Sellado profundo	Consiste en alterar <i>in situ</i> la estructura del suelo contaminado para disminuir su Permeabilidad y controlar así el avance de la contaminación en profundidad. Se inyectan materiales plastificantes en forma de lechadas (cemento bentonita, silicato sódico o mezclas de bentonita con resinas orgánicas) hasta la profundidad deseada, que en el caso de sellados permanentes no debe sobrepasar los 20 m y en sellados temporales los 30 m.
6	Barreras hidráulicas	Es una técnica que se basa en extraer el agua subterránea en las inmediaciones de la zona contaminada o aguas arriba para evitar su contaminación y la migración de la contaminación aguas abajo. La extracción del agua subterránea se realiza a través de pozos, drenes o zanjas de drenaje que rebajan el nivel freático y en ocasiones es tratada para descontaminarla, pudiendo ser inyectada de nuevo en el suelo para mitigar los efectos nocivos que la sobreextracción de agua pueda producir en el suelo y el subsuelo (Kaifer <i>et al.</i> , 2004).

Fuente: (Contreras, 2005)

b. Técnicas de descontaminación

Los siguientes tratamientos describen distintas técnicas de descontaminación de suelos que combinan asimismo en algunos casos la descontaminación del agua subterránea. Técnicas tienen como objetivo separar los contaminantes del suelo para su posterior tratamiento depurador. (Contreras, 2005)

Tabla 19. Técnicas de recuperación de suelos contaminados

Tratamientos físico-químicos		
Extracción	Extracción de aire	Se emplea para extraer los contaminantes adsorbidos en las partículas de suelos no
	Extracción de agua	Consiste en extraer el agua contaminada del suelo y del subsuelo, tanto de la zona saturada como de la zona no saturada.
	Extracción de fase libre	Se aplica en suelos contaminados con hidrocarburos en fase libre, situados por encima del nivel freático.
	Extracción fases densas	Se emplea en contaminantes como disolventes clorados, algunos PCBs, fenantreno
	Extracción con disolventes y ácidos	Se basa en la extracción de los contaminantes mediante la mezcla en un tanque del suelo con un disolvente orgánico como acetona,
Lavado	Tratamiento que se realiza en el suelo excavadores previamente separado físicamente por tamizado, densidad o gravedad para eliminar	
Flushing	es un tratamiento in situ que consiste en anegar los suelos contaminados con una solución que transporte los contaminantes a una zona determinada y localizada donde puedan ser eliminados	
	Así, los contaminantes son extraídos del suelo haciéndole pasar agua u otras soluciones acuosas mediante un sistema de inyección o infiltración.	
Electrocinética	Consiste en aplicar una corriente eléctrica de baja intensidad entre electrodos introducidos in situ en el suelo contaminado que permite la movilización de agua, iones y partículas pequeñas cargadas	
Adición de enmiendas	Los suelos contaminados por sales o metales pesados pueden también recuperarse insitu añadiéndoles substancias orgánicas e inorgánicas y mezclándolas con los horizontes del suelo para transformar los contaminantes	
Barreras permeables activas	Esta novedosa técnica desarrollada en la última década, se basa en la instalación in situ de una pantalla perpendicular al flujo de la pluma de contaminación a través de la cual pasa el agua subterránea contaminada y cuyo material de relleno puede adsorber, precipitar o degradar biótica o bióticamente los contaminantes.	
Oxidación ultravioleta	La oxidación ultravioleta representa una de las tecnologías emergentes más importantes para recuperar agua subterránea contaminada..	
Tratamientos biológicos		
Biodegradación asistida	Proceso por el cual microorganismos indígenas o inoculados (bacterias y hongos) metabolizan los contaminantes orgánicos que se encuentran en suelos y/o el agua subterránea, convirtiéndolos en productos finales inocuos	
	Los microorganismos pueden movilizar metales a través de lavado de determinadas bacterias oxidantes de hierro y/o azufre (Thiobacillus thiooxidans Thiobacillus ferrooxidans, Leptospirillum ferrooxidans) obtienen energía a través de la oxidación del hierro ferroso y compuestos reducidos de azufre, acidificando los suelos como consecuencia de la producción de ácido sulfúrico y solubilizando sulfuros metálicos y otros compuestos metálicos que pueden ser eliminados de los suelos por lixiviado	
Fitorrecuperación	técnica que utiliza la capacidad de ciertas especies vegetales para sobrevivir en ambientes contaminados con metales pesados y	

	sustancias orgánicas y a la vez extraer, acumular, inmovilizar o transformar estos contaminantes del suelo. En la actualidad se están utilizando un número importante de otras especies que son capaces de extraer Zn, Pb, As, Cd, Cu, etc.
Procesos ex situ	
Compostaje	Proceso biológico que consiste nuevamente en estimular la actividad microbiana, aerobia y anaerobia, de microorganismos indígenas bajo condiciones termofílicas (12-18°C) que permita transformar compuestos orgánicos tóxicos en sustancias inocuas (USEPA, 1996).
Lodos biológicos	Es otro tratamiento de biodegradación en el que el suelo contaminado es excavado tamizado para eliminar los elementos gruesos y mezclados con agua y otros aditivos en un biorreactor controlado.
Tratamientos térmicos	
Incineración	Se trata de un tratamiento ex situ en el que los contaminantes son destruidos mediante el suministro de calor. El suelo se somete a elevadas temperaturas, alrededor de los 1000°C, con el fin de oxidar y volatilizar los compuestos orgánicos contaminantes.
Desorción térmica	se somete al suelo a unas temperaturas más bajas (90-320°C, desorción térmica de baja temperatura; 320-560°C, desorción térmica de alta temperatura) para conseguir la desorción en vez de la destrucción de los contaminantes que persigue la incineración
Tratamientos mixtos	
Extracción multifase	Consiste en extraer simultáneamente in situ, mediante zanjas o pozos, sustancias contaminantes que estén presentes en el suelo en fase vapor (compuestos orgánicos volátiles), fase líquida (en disolución) y, especialmente, compuestos no acuosos en fase libre (LNAP).
Atenuación natural	Está utilizando cada vez más dado que se trata de un método de recuperación de suelos yaguas contaminadas de bajo coste

Fuente: (Contreras, 2005)

2.2.8 Encalado de suelos ácidos

El encalado consiste en la aplicación al suelo de las sales básicas que neutralizan la acidez. Los materiales que se utiliza como alcalinizantes o correctivos de acidez, son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio (Ca) y/o magnesio (Mg). Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una variable capacidad de neutralización. (Magra, 2004)

El método más común y efectivo para corregir la acidez del suelo, y consiste en la aplicación masiva de sales básicas con el objeto de neutralizar la acidez causada por hidrógeno y aluminio. La reducción de la acidez y la toxicidad de aluminio mejoran el crecimiento de las

raíces de las plantas permitiéndoles profundizar más en el perfil del suelo y explorar un mayor volumen de suelo en busca de agua y nutrimentos. (Magra, 2004)

a) Reacciones del encalado en el suelo

Los mecanismos de reacción de los materiales de encalado permiten la neutralización de los iones H^+ en la solución de los suelos por medio de los iones OH^- producidos al entrar la cal en contacto con el agua del suelo. Es por esta razón que la cal es efectiva solamente cuando existe humedad en el suelo. (Magra, 2004)

Los óxidos reaccionan inmediatamente con el agua del suelo transformándose en hidróxidos y neutralizan la acidez a través de su OH^- que es una base fuerte, por lo que son más efectivos a corto plazo. Los materiales a base de carbonatos y silicatos neutralizan la acidez a través de la hidrólisis (reacción con el agua) de los iones CO_3^{2-} y SiO_3^{2-} , que son bases débiles, como se ha indicado anteriormente. (Magra, 2004)

También es interesante el notarse que el ion carbonato (CO_3^{2-}) es el que realmente eleva el pH al hidrolizarse y producir iones OH^- : Además es importante indicar que el ion CO_3^{2-} se disipa como CO_2 después de la reacción de la hidrólisis. Esta es la razón por la cual el efecto de la cal se limita al lugar de aplicación. En otras palabras la aplicación superficial de la cal no afecta el pH de las capas inferiores debido a que la cal no migra a través del perfil sino más bien se disipa como CO_2 en

el sitio de aplicación, este es un aspecto importante en el manejo del encalado. (Magra, 2004)

2.2.8.1. Época y método de aplicación de la cal

Para que la cal sea efectiva es necesario mezclar completamente el material en los primeros 15-20 cm del suelo, utilizando el arado, de esta forma se logra mezclar el material con la capa del suelo donde se concentra las raíces activas de la mayoría de los cultivos. (Magra, 2004)

- Incorporación del material en los primeros 15 a 20 cm de suelo.
- Distribución uniforme en todo el terreno.
- Cultivos establecidos (pastos y perennes), la cal debe aplicarse en la superficie.
- Cultivos perennes con distancias de siembra amplias: distribución área de gotera.
- Humedad es necesaria para reacción de cal:
 - Al inicio de lluvias
 - Final de estación lluviosa
- Evitar contacto directo de la cal con fertilizantes: 1 o 2 meses antes.
- Frecuencia: 2 o 3 años.

2.3. Definición de términos básicos

Ambiente: Es el conjunto de fenómenos o elementos naturales y sociales que rodean a un organismo, a los cuales este responde de una manera determinada. Estas condiciones naturales pueden ser otros organismos (ambiente biótico) o elementos no vivos (clima, suelo, agua).

Áreas de influencia: Perímetro inmediato del emplazamiento donde hay indicio o alguna evidencia de contaminación potencial del suelo.

Contaminante: Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente.

Características físicas del suelo: Cualidades, propiedades o factores que pueden servir para establecer el carácter del suelo las cuales son: Color, Textura, Consistencia, Esqueleto grueso, Estructura, Permeabilidad.

Características químicas del suelo: Las más importantes son: acidez, contenido de carbonato de cal, riqueza en fertilidad o fertilizantes y concentración de sales solubles.

Edafología: Es la ciencia que estudia el suelo en su conjunto (composición, funciones, formación y pérdidas).

Estructura del suelo: Se refiere a la forma en que se unen las distintas partículas del suelo. Evapotranspiración: Agua perdida por la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas.

Fertirrigación: Técnica de aplicación de los fertilizantes disueltos en el agua de riego.

Fisiografía: Ciencia cuyo objeto es la descripción de la tierra y de los fenómenos localizados en ella.

Formación del suelo: comprende una serie de procesos que transforman el material original (las rocas).

Franco: Suelo que contiene una proporción equilibrada de arena, limo y arcilla.

Humificación: Proceso por el cual los residuos orgánicos se transforman en humus.

El hidrómetro: Cualquiera que sea su tipo, es un dispositivo que permite medir la densidad de la solución en la cual se suspende. En el caso del hidrómetro de suelos la densidad total de la solución compuesta por agua, suelo y dispersante se calcula como:

Humus: Materia orgánica de color pardo negruzco, que juega un papel de gran importancia en la fertilidad de los suelos.

Lavado: Arrastre de elementos nutritivos con el agua de drenaje.

Limo: Partícula de suelo cuyo tamaño está comprendido entre 0,05 y 0,002 milímetros.

Materia orgánica: Materia existente en el suelo que procede de la descomposición de residuos vegetales y animales.

Fertirrigación: Técnica de aplicación de los fertilizantes disueltos en el agua de riego.

Fijación del fósforo: Transformación del fósforo asimilable contenido en el suelo en fósforo no asimilable.

Franco: Suelo que contiene una proporción equilibrada de arena, limo y arcilla.

Microelementos: Son aquellos elementos nutritivos que las plantas necesitan en pequeña cantidad. Normalmente se encuentran en los suelos en las cantidades requeridas por las cosechas.

Mineralización: Proceso por el cual los residuos orgánicos se convierten en sustancias minerales (agua, amoníaco, anhídrido carbónico, etc.).

Nitrificación: Proceso mediante el cual el nitrógeno amoniacal se transforma en nitrógeno nítrico.

Porosidad: Conjunto de los poros del suelo.

Suelo: Capa más superficial de la corteza terrestre en donde se desarrollan las raíces de las plantas.

Suelo ligero: Suelo que se labra con facilidad.

Suelo pesado o fuerte: Suelo que se labra con dificultad.

Textura del suelo: Es la proporción que contiene de arena, limo y arcilla.

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de tablas y gráficos

La presente tesis profesional, se ejecutó en el departamento de Cajamarca, provincia y distrito de Cajamarca, centro poblado Yanacancha Grande, caserío Apalina Alta, con la finalidad de analizar las propiedades físicas: Textura, Densidad Aparente y las propiedades químicas del suelo (pH, P, K M.O y Al) de los suelos de Apalina Alta y proponer un estrategia adecuada de fertilización para un mejor aprovechamiento de sus tierras y obtener mejores resultados en sus cosechas. Para el estudio de la fertilidad de los suelos se utilizó la metodología aplicada en base a la investigación. Se realizó trabajos en el laboratorio experimental Baños del Inca INIA Cajamarca.

Así mismo se determinó el análisis basado en los valores y normas técnicas peruanas que permitió conocer las condiciones y la calidad del suelo como una estrategia óptima de mejora en cumpliendo la Ley General del Ambiente N° 28611, Art 31, que define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA), como la medida que establece el nivel de concentración, sustancias físico, químicos y biológicos presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor, y que mediante D.S. N° 002-2014-MINAN se establece disposiciones complementarias para la aplicación de los ECA para suelo y que por

Resolución Ministerial N° 137-2016-MINAN, aprobado el 02 de junio de 2016, se resuelve cumplir el Art. 1 actualizar los métodos de ensayo para el análisis de los parámetros de los ECA, para suelo. Para determinar los porcentajes de suelo se aplicó bajo la norma ASTM AD- 422.

En cuanto a los métodos de laboratorio se trabajó con 04 parcelas seleccionadas donde de cada una, se seleccionó 03 muestras que fueron las más representativas para el análisis de fertilidad natural, en base a sus parámetros físicos y químicos para conocer el estado de la calidad del suelo.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se presenta la muestra de estudios del caserío Apalina Alta:

Tabla 20. Muestra de estudios Apalina Alta 2015.

Parcelas	Zona	Punto de muestreo
APALINA ALTA (O)	TO	TO-10
		TO-30
		TO-50
CARDON (A)	TA	TA-10
		TA-30
		TA-50
LA COLPA (B)	TB	TB-10
		TB-30
		TB-50
LOS PINOS (C)	TC	TC-10
		TC-30
		TC-50

Fuente: Elaboración Propia, 2015.

3.1.1. Cronograma del trabajo de investigación

En la presente tesis profesional, se realizó las siguientes visitas de campo al caserío de Apalina Alta, así como también laboratorio

experimental de Baños del Inca INIA Cajamarca, durante el periodo de estudios. Se divide en 5 Fases, cada visita tuvo su respectivo propósito como se especifican en las fechas con recuadros resaltados de colores en la siguiente tabla (Ver Tabla 8):

Tabla 21. Cronograma trabajo Apalina Alta 2015

Fase I. Reconocimiento del entorno y selección de las zonas a muestrear							
	L	M	M	J	V	S	D
ABRIL						11	12
	13	14	15	16	17	18	19
	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30			
Fase ii. Recolección de las muestras de suelos							
	L	M	M	J	V	S	D
MAYO					1	2	3
	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31
Fase III. Análisis en el laboratorio INIA-CAJ							
	L	M	M	J	V	S	D
JUNIO	1	2	3	4	5	6	7
	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26	27	28
	29	30					
Fase IV Complementación de la información							
	L	M	M	J	V	S	D
JULIO			1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19
	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31		
Fase V. Procesamiento de datos							
	L	M	M	J	V	S	D
AGOSTO						1	2
	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16
	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31		
Procesamiento de datos							
	L	M	M	J	V	S	D
SEP		1	2	3	4	5	6
	T	7	8	9	10	11	

Fuente: Elaboración, propia 2015.

Antes de salir al caserío de La Apalina Alta, se recopiló información bibliográfica, estadística y cartográfica como material de apoyo que se utilizó, para la descripción del área de estudio.

3.2 Fase I: Reconocimiento del entorno y selección de las zonas a muestrear

Para reconocer el área de estudio del caserío de Apalina Alta, se identificaron aspectos básicos como la vegetación, el relieve, el clima, hidrografía, y las actividades antrópicas, con esta información se salió a campo con un previo conocimiento.

El reconocimiento del área de estudio se fundamentó en la observación de los elementos naturales del caserío de Apalina Alta y de las principales actividades humanas que se practican en ese caserío como la agricultura y la ganadería. Enfocándonos a observar todo lo relacionado con el suelo, donde se apreció a simple vista lo siguiente:

- Inapropiadas prácticas de manejo
- Se practica excesivo sobrepastoreo,
- Ejecución de la labranza de las colinas en sentido descendente,
- Efectúan quema de residuos y el suelo se aprecia desnudo
- Presencia de piedra en el espacio del cultivo
- Presencia de árboles el espacio del cultivo
- Zanjones o charcos
- Tipo y cantidad de malezas
- No se aprecia un terreno con buena producción de cultivos
- El caserío delimita a la minera de la empresa Yanacocha S.R.L

Se observó la pendiente y el color de la tierra de los suelos del caserío Apalina Alta, los cuales son indicadores del estado de salud de las parcelas de la zona.

A partir de la observación y la información dada por el caserío Apalina Alta, se identificaron zonas según su estado de conservación y uso.

Por otro lado, durante las salidas de campo, se apreció que la población estuvo de acuerdo con el desarrollo de la presente tesis profesional. Se entrevistó a los moradores y Teniente Alcalde así como también al dirigente de la comunidad campesina del caserío de La Apalina Alta. Estas entrevistas fueron herramientas fundamentales para recoger información específica, en los siguientes aspectos: Lugares circundantes de la zona de estudios, sustancias que alteran la composición del suelo, calendario agrícola, cultivos en la zona, uso y mantenimiento de los suelos, así como también cómo influye la minera Yanacocha S.R.L. en las zonas aledañas del caserío.

3.3 Fase II: Recolección de las muestras de suelos

a. Recolección de las muestras de suelos

Identificadas las características de los centros poblados del caserío La Apalina Alta, de las 19 parcelas, se definieron 04 parcelas del caserío, de los cuales se obtuvo 04 muestras de cada una, seleccionados bajo los siguientes criterios: condiciones de sombra, condiciones ambientales, número de usuarios y por ser los lugares más representativos de la zona, se comparó sus propiedades edáficas.

Como apoyo para elaborar el diseño de muestreo, se recurrió a las imágenes satelitales del programa Google Earth Pro 2015, sobre las

cuales se ubicaron los puntos de muestreo referenciales para la toma de muestras de las 04 parcelas seleccionadas.

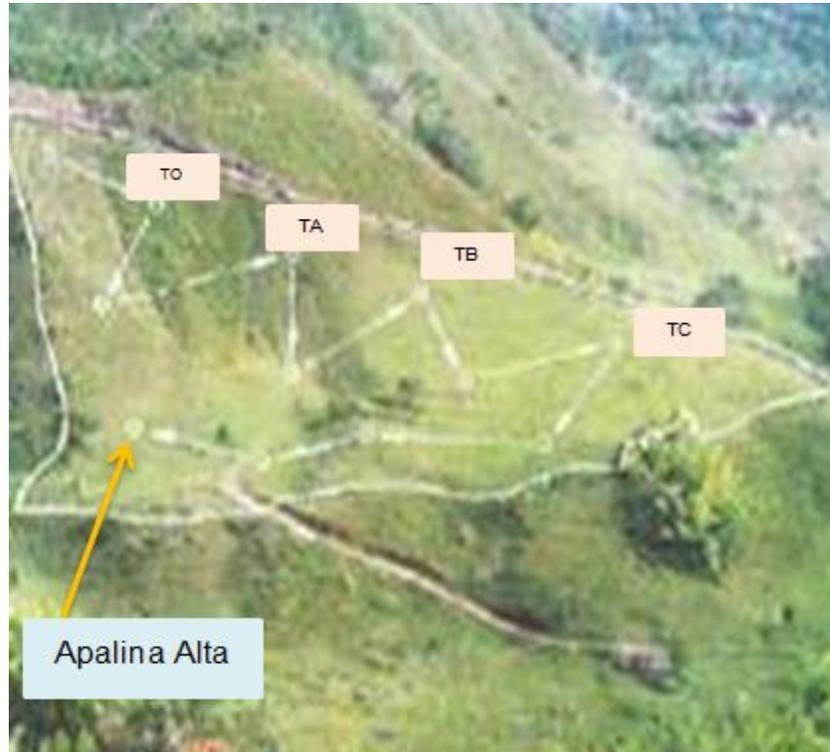


Figura 10. Ubicación puntos de muestro, 2015.
Fuente: Google Earth Pro 2015.

Para el muestreo de suelos se utilizó el método Zig Zag del cual depende la fiabilidad de los resultados en las posteriores evaluaciones: De la investigación se seleccionó cuatro parcelas (de las cuales se hizo 03 muestreos) y en cuatro horizontes (O, A, B y C).

Se demarco los puntos de muestreo TO, TA, TB, TC, y sus respectivas coordenadas (Ver Tabla 22):

Zona	punto de muestreo	coordenadas UTM		Altitud (msnm)
		E	N	
APALINA ALTA (O)	TO	768587	9229781	3120
CARDON (A)	TA	768726	9224784	3112
LA COLPA (B)	TB	768791	9239797	3118
LOS PINOS (C)	TC	768789	9229589	3074

Tabla 22. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo - UTM

Fuente: Elaboración, propia 2016.

- **Zona O (TO):** Zona denominada como Apalina Alta, presenta suelos en mal estado con tipo y cantidad de malezas.
- **Zona A (TA):** Zona denominada como Cardón, presenta zona con estado regular de conservación pero en el perímetro de la zona existe la presencia de árboles junto al espacio del cultivo.
- **Zona B (TB):** Zona denominada como La Colpa presenta no se aprecia un terreno de buena producción de cultivos en el perímetro del caserío.
- **Zona C (TC):** Zona denominada, existen charcos en la mayoría de los suelos del caserío. inapropiada practica de manejo forestal.

Posteriormente se seleccionó el lugar para realizar la calicata con apoyo de un técnico especialista en suelos el Ing. Willian Carrasco Rojas, enviado por el área de Mecánica de Suelos de INIA Cajamarca, quien nos ayudó a elegir el lugar adecuado de la muestra, las cuales fueron representativas por lo que se necesitó menor número de ellas para interpretar mejor los resultados.

Para decidir qué puntos son más representativos, se observó detenidamente las parcelas a estudiar. Los suelos normalmente homogéneos son los que ocasionan variaciones en la producción agrícola dentro de una misma parcela, se definieron 04 parcelas.

Para realizar un estudio de fertilidad de suelos, el especialista sugirió recoger el menor número de muestras, pero que cada una de ellas sea representativa, por ello se recogió 04 muestras de cada parcela seleccionada. (Ver Figura 11)

Después de encontrar la ubicación de la zona de muestreo se procedió hacer la calicata, a medir la dimensión que fue de 1m x 1m, con 65 a 75 cm de profundidad, que se excavó con ayuda de palas metálicas; se apreció cuatro capas de suelo que fueron las siguientes:



Figura 11. Toma de muestras trabajo de investigación 2015. Apalina Alta.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Horizonte O: En este horizontes e encontró la primera capa identificada donde se halló material vegetal (pasto, hojas secas).

Horizonte A: Se observó el color marrón claro arenoso que es donde están los residuos vegetales.

Horizonte B: En esta capa se encontró actividad bilógica (lombrices).

Horizonte C: Es de color amarillo, en esta capa se encontró rocas.

3.4 Fase III: Análisis en el laboratorio INIA Cajamarca

Las muestras de suelo se llevaron al Laboratorio experimental de Baños del Inca INIA Cajamarca, ubicado en el centro experimental Baños del Inca a 17 Km, donde se las dejó una parte abiertas durante 15 días en un lugar seco, ventilado y sin recibir luz solar directa y otra parte se congeló cerrándolas herméticamente para análisis químicos.



Figura 12. Pesadas de toma de muestras de Apalina Alta.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **Equipos, instrumentos y reactivos utilizados en el laboratorio**

Tabla 23. Instrumentos de laboratorio

Equipos, instrumentos utilizados en el laboratorio		
N°	Equipos, instrumentos	
01	<ul style="list-style-type: none"> - Vasos de precipitados de 100 mL, 250 mL y 300 mL. - Balanza analítica digital calibrada, marca OHAUS, - Estufa Cima S.A modelo Memmert. T° 0 – 120 °C - Tamiz de acero inoxidable, ASTM marca ETI, N°10. - Cuarteador - Desecador de vidrio - Sílica gel con indicador de cloruro de cobalto - Lámina de cierre extensible de plástico biodegradable - Hidrómetro – ASTM-152H - Termómetro rango temperatura 10 a 65 °C - Probeta de vidrio de 1000 mL - Mufla marca Naber Industrie ofenbau. - Cocinilla marca Thermo Scientific CIMAREC - Tubos de ensayo para centrifuga de 30 mL - Centrifuga marca HETTICH modelo EBA 85 - Filtros de papel cuantitativos - Medidor de pH 	
01		
01		
01		
02		
03		
01		
01		
02		
01		
01		
01		
01		
01		
01		
01		
N°		Reactivos
Nombre		Fórmula Química
Buffer pH ₄	- Ácido cítrico /NaOH/ HCl	
Buffer pH ₄	- Na ₂ HPO ₄ /KH ₂ PO ₄	
Hexametáfosfato de sodio	- (NaPO ₃) ₆	

Fuente: Laboratorio de suelos INIA- Cajamarca, 2015.

3.4.1 Determinación de la fertilidad física del suelo

a. Determinación de la textura

Para determinar la textura de las muestras del caserío de Apalina Alta, se determinó a partir de la norma ASTM Internacional D422-63 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils”. Este se fundamenta en la *Ley de Stokes*, que “establece que la velocidad de sedimentación de las

partículas finas del suelo, en una suspensión, es directamente proporcional a su tamaño”.

Se empleó el hidrómetro, en el Laboratorio del Área de suelos de INIA Cajamarca, se cuantificó la masa de partículas finas en la muestra de suelo a partir del proceso de sedimentación en una suspensión durante un tiempo determinado.

Para realizar este análisis, se comenzó haciendo un cuarteo manual de las muestras obtenidas, para obtener dos submuestras de 50 g. La fracción se conservó en vasos de precipitados de 250 mL cubiertos con Parafilm®.



Figura 13. Cuarteo manual de las muestras 2015. Apalina Alta.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación, se preparó una solución de hexametáfosfato de sodio (NaPO_3) de 40g/L, para la dispersión de las arcillas. Por lo que con este propósito, se disolvió 40 g de NaPO_3 con

agua desionizada¹, para acelerar el proceso, se empleó un agitador magnético con calentamiento de 80 a 90°C.

Esta solución se trasladó a una fiola para enrasar a un volumen de 1L. Una vez preparada, a cada submuestra de suelo se le agregó 125 mL de la solución de NaPO₃, se cubrió el vaso de precipitado con Parafilm® y se dejó reposar por 24 horas de reposo.



Figura. 14. A. Sub muestra con 125 mL NaPO₃, **B.** Sub muestra en suspensión.
Fuente: Laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

Luego se realizó una muestra en blanco con 125 mL de la solución de hexametáfosfato de sodio 40 g/L como referencia para la calibración del hidrómetro. Se colocó dicho volumen en una probeta de 1 L y se completó con agua desionizada hasta completar dicho volumen. La lectura del hidrómetro fue de 5 g/L.

¹**Agua Desionizada o desmineralizada:** Es aquella a la cual se le han quitado los cationes, como los de sodio, calcio, hierro, cobre y otros, y aniones como el carbonato, fluoruro, cloruro, etc. mediante un proceso de intercambio iónico.



Figura 15. Toma de muestras, Izquierda: Muestra. Derecha: Blanco
Fuente: Laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

Después de 24 horas las partículas que sedimentaron en el fondo del vaso se las resuspendió con ayuda de un magneto, revolviendo la muestra sobre el agitador magnético a 7 a 9 rpm. La mezcla se trasvasó a una probeta de 1000 mL, completando hasta dicho volumen con agua desionizada (Ver Figura 15).

Por último, se cubrió la probeta con Parafilm® para evitar la pérdida de muestra, se agitó de lado a lado hasta homogenizar la suspensión, inmediatamente se dejó la probeta en mesa del laboratorio, se quitó el Parafilm®, se accionó el cronómetro y se introdujo el hidrómetro cuidadosa

y lentamente para realizar las lecturas en los tiempos determinados:

Tabla 24. Lecturas de partículas

N° Lecturas	Tiempo de lectura	Descripción de las partículas
Primera Lectura	40 segundos	Las partículas de arena han sedimentado por completo.
Segunda Lectura	2 horas	Las únicas partículas que quedan en suspensión son las de arcilla y de diámetro menor.

Fuente: Laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

Para cumplir con las normas ASTM International D422–63, se hizo lecturas según los tiempos especificados por la norma: 2; 5; 15; 30 y 60 minutos de las cuatro parcelas seleccionadas de caserío Apalina Alta en las dos sub muestras (Ver Anexo 3).

Inmediato a la lectura del hidrómetro se toma la temperatura de la suspensión en la probeta. Con la temperatura se hace la corrección de la lectura, ya que el hidrómetro está calibrado para una suspensión con temperatura de 20°C.

De la muestra en *blanco* realizada con 125 mL de la solución de hexametáfosfato de sodio 40 g/L, como se menciona líneas arriba en la Figura 15. Después de colocar dicho volumen en una probeta de 1 L se completó con agua destilada hasta 1 L, la lectura del hidrómetro fue 5 g/L.

Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

- ***Corrección de la lectura: Por cada 1°C sobre los 20°C se adiciona 0.36.***

Corrección de la lectura $CL \text{ g/L} = \text{Temperatura } ^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} \times 0.36$

- **Cálculo de los porcentajes de las partículas**

$$\text{Arena } A\% = 100 - \left(\frac{\text{Lectura hidrómetro } 40 \text{ S} + CL}{50 \text{ g}} - \text{Blanco} \right) \times 100$$

$$\text{Arcilla } Ar \% = \left(\frac{\text{Lectura hidrómetro } 2h + CL}{50 \text{ g}} - \text{Blanco} \right) \times 100$$

$$\text{limo } L\% = 100 - (A\% + Ar\%)$$

Dónde:

40s = 40 segundos

2h = 2 horas

b. Determinación de la densidad aparente

Para encontrar la densidad aparente se determinó por el *método del cilindro*. (USDA, 1999)



Figura 16. Toma de muestras, utilizando un cilindro.

Fuente: Caserío Apalina Alta. TB.

Se realizó la muestra de suelo, contenida en el cilindro, a esta muestra se la colocó en una placa Petri, se secó en la estufa a 105 °C por 24 horas, y se pesó en la balanza con precisión de un decimal. Para encontrar el resultado se basó en la razón entre la diferencia de masa y volumen conocido del cilindro metálico (Ver Figura 16).

- Peso (a) = Muestra seca a 105 °C + Placa Petri
- Peso (b) = Placa Petri

$$a - b = \text{Peso de la Muestra seca a } 105 \text{ }^{\circ}\text{C (g)}$$

El valor de la densidad aparente de cada muestra se obtuvo con el siguiente cálculo:

$$D.A = \left(\frac{\text{Peso de la Muestra seca a } 105 \text{ }^{\circ}\text{C (g)}}{\text{Volumen de la lata (cm}^3\text{)}} \right) = x \text{ g/cm}^3$$

Si mayor es el valor de la D.A., menor es el espacio poroso para el movimiento del agua, el crecimiento y penetración de las raíces, y el desarrollo de las plántulas. (USDA, 1999)

c. Determinación del potencial de hidrógeno

Para la determinación del pH como de la C.E. se utilizó el **método potenciométrico** en una solución extracto de suelo, cuya relación *suelo: agua* está en proporción 1:1 en *masa: volumen*; se utilizaron *80 g de suelo/80 mL de agua*. Con esa relación se obtuvo el volumen de solución suficiente para tomar las lecturas.

La muestra de 80 g se pesó en vasos de precipitados secos y limpios. Luego se le agregó 80 mL de agua destilada; la mezcla se agitó sobre el agitador magnético por una hora a una frecuencia de 6 a 7 rpm. Se dejó reposar a la solución por más de 24 horas para que las partículas sedimenten, los coloides se coagulen y solo quede un sobrenadante.



Figura 17. Toma de muestras, utilizando un cilindro.
Fuente: Caserío Apalina Alta. TB

Se extrajo el sobrenadante con una pipeta Pasteur, la mezcla se colocó en tubos de ensayo para la centrifuga.



Figura 18. Solución de muestras de suelo en tubos de ensayo para centrifugar.
Fuente: Laboratorio de INIA. Baños del Inca-Cajamarca.

La solución se centrifugó por 10 minutos a 3000 rpm, para que los sólidos insolubles, que pasaron durante el pipeteado, queden adheridos en las paredes; este paso se repitió hasta que la solución quede completamente traslúcida.

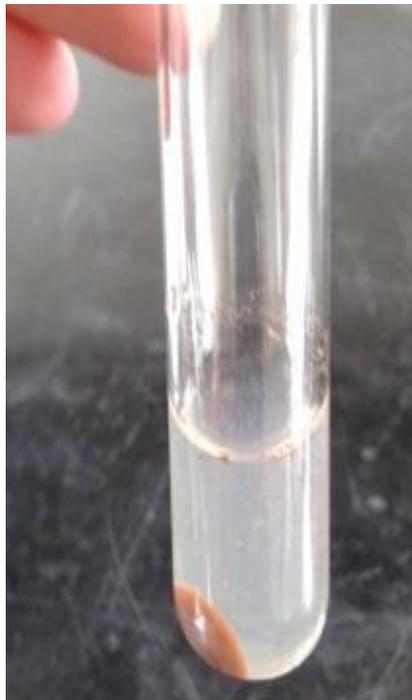


Figura 19. Solución traslúcida, después de llevar a la centrifuga.
Fuente: Laboratorio de INIA. Baños del Inca-Cajamarca.

Como aún quedaron partículas en suspensión, se pasó a la mezcla por un papel filtro, quedando en él la diferencia de partículas todavía gruesas.

La solución se decantó a un vaso de precipitado de 100 mL para la lectura del pH, y a un tubo de ensayo para la lectura de C.E. (Figura 19)



Figura 20. Lecturas de ensayo INIA Cajamarca.
Fuente: Laboratorio de INIA. Baños del Inca-Cajamarca.

Las muestras se analizaron, realizando un total de dos lecturas por ensayo para cada parámetro, con un intervalo de 30 minutos entre cada lectura. El promedio de los dos datos se consideró como el resultado del pH y C.E.

3.4.2 Determinación de la fertilidad química del suelo, contenido de macronutrientes

El contenido de los macronutrientes de las muestras de suelo del caserío Apalina Alta, se determinó en el Laboratorio de Análisis de Suelos INIA Cajamarca. Se analizaron 19 muestras en total: 3 muestra por punto, más 1 muestra adicional del punto TO-10%, como muestra **control**, para corroborar la precisión y confiabilidad de los resultados del método.

En el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de INIA Cajamarca, se retiró del

congelador la muestra recogida al inicio del muestreo para que se tempere al aire libre por 7 días aproximadamente; luego, se pesó entre 150 a 200 g. La cantidad restante de muestra se guardó nuevamente en bolsas herméticas dentro del congelador, para futuras pruebas.

A continuación se describen los métodos utilizados por el LASPAF para el análisis de los macronutrientes de interés, obtenidos del caserío Apalina Alta:

a. Contenido de fósforo disponible

Para su determinación se aplicó el *método de Olsen*², el cual se basa en el uso de una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0,5 M a pH 8,5 para disminuir las concentraciones de Ca^{2+} soluble en la solución, a través de la precipitación de carbonato de calcio, y de los iones solubles de Al^{3+} y Fe^{3+} , con la formación de hidróxidos de Al^{3+} y Fe^{3+} esta disminución favorece la disolución de los fosfatos de calcio. Además, esta solución de extracción remueve el fósforo disuelto y absorbido en la superficie de los carbonatos de calcio y los óxidos de hierro. (Valencia, 2000)

² **Método Olsen:** Con bicarbonato de sodio, se utiliza para predecir la respuesta del cultivo a la adición de fertilizantes de P en suelos calcáreos. Se utiliza como método predilecto en suelos calcáreos, con menos del 2% de carbonato de calcio, pero se ha demostrado en algunas investigaciones ser razonablemente eficaz para suelos ácidos.

b. Contenido de potasio disponible

Para su determinación se aplicó el método de *acetato de amonio*³ 1 N, pH 7,0, el cual “usa una solución normal de acetato de amonio, ajustado a un pH 7,0, para reemplazar los cationes presentes en el complejo de intercambio”. El potasio (K) es uno de los principales cationes intercambiables; es decir, puede ser absorbido por la arcilla o la materia orgánica al estar cargadas negativamente, sin destruir los coloides del suelo. Por ello, el método empleado también es utilizado para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables. (Valencia, 2000)

c. Determinación del contenido de materia orgánica

El contenido de materia orgánica se determinó a partir de la norma ASTM Internacional D2974–87 – “*Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils*”. En la balanza analítica con precisión de cuatro decimales, se pesó 1 g aprox. de muestra seca a 105 °C, cantidad que se puso en cápsulas de porcelana rotulados con el número que corresponde a cada muestra. (Ver Figura 21)

- Peso (a) = Cápsulas
- Peso (b) = Muestra seca a 105 °C

³ **Método de Acetato de Amonio:** determinar si la medición de los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico con el método del Cloruro de Amonio (NH₄CL 0,2 N), produce resultados repetitivos, estables y comparables con dos métodos de medición de la CIC rutinarios, el Acetato de Amonio 1N, pH 7 y el Acetato de Sodio pH 8.

- Peso (c) = Crisol + Muestra seca a 105 °

Los crisoles con las muestras fueron llevados, previamente, a 100°C en la estufa por unos 10 min. Luego, utilizando el equipo de protección especial personal (guantes térmicos y pinzas metálicas). Se colocaron los crisoles cuidadosamente en la mufla, donde estuvieron a 450°C por 4 horas. A esta temperatura se volatiliza el carbono orgánico, quedando el inorgánico en forma de carbonatos.

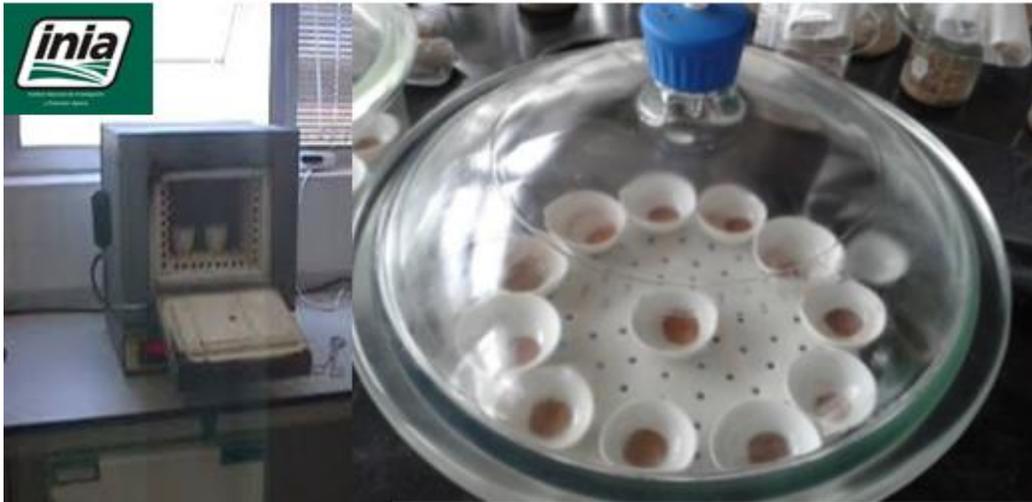


Figura 22. Muestras vaciadas en estufa por unos 10 min.
Fuente: Laboratorio de INIA. Baños del Inca-Cajamarca.

Se retiró los crisoles de la mufla, después de una hora hasta que baje la temperatura y se colocaron en los desecadores de sílica gel, para que se enfríen hasta temperatura ambiente y así poder pesarlos (Ver Figura 19).

- Peso (d) = Crisol + Muestra s/ M.O.
- c – d = Peso M.O. (gr.)

El porcentaje se obtuvo mediante el siguiente cálculo:

$$M.O = \left(\frac{\text{Peso de Matria Organica (g)}}{1 \text{ g de muestra}} \right) = X * 100 = X\%$$

3.5. Fase IV Complementación de la información

3.5.1. Etapa de gabinete

Los resultados de los análisis de Laboratorio de suelo, pastos, y agua INIA - Baños del Inca Cajamarca, fueron analizados. El resultado de las muestras de suelos de cada una de las parcelas se clasificó según el sistema propuesto por el USDA y UNAML, para luego interpretar su significado. Los valores se compararon para ver la diferencias entre el suelo de las cuatro zonas muestreadas del caserío Apalina Alta.

3.5.2. Resultados de laboratorio de INIA Cajamarca

El trabajo en laboratorio entregó la información más importante para determinar la fertilidad de los suelos muestreados del caserío Apalina Alta. Cada una de las propiedades físicas y químicas ha resultado de la ejecución de los procedimientos, seleccionados como óptimos. A continuación, se presentan los valores obtenidos:

a. Textura

Las muestras de suelo del caserío Apalina Alta, presentaron los siguientes porcentajes por cada fracción, siendo el resultado final el promedio del duplicado de lecturas (Ver Tabla 25)

Tabla 25. Resultados del análisis granulométrico, caserío Apalina Alta.

ZONA	Código Muestra	Proporción de las partículas			Clasificación textural	Altitud (msnm)
		Arena %	Limo %	Arcilla %		
Zona O	TO-10	46.48	31.53	21.99	Franca	3097
	TO-30	28.79	34.17	42.17	Franca Arcillosa	3075
	TO-50	33.17	24.62	48.40	Franca Arcillosa	3046
Zona A	TA-10	35.72	34.92	19.36	Franca	3120
	TA-30	37.76	39.51	22.74	Franca	3113
	TA-50	31.83	31.89	46.28	Franca Arcillosa	3109
Zona B	TB-10	31.83	31.89	49.28	Franca Arcillosa	3118
	TB-30	27.51	37.72	36.45	Franco Arcillo Limosa	3112
	TB-50	44.34	28.66	11.05	Franca Arenosa	3103
Zona C	TC-10	28.89	35.12	41.17	Franca Arcillosa	3074
	TC-30	22.83	35.12	43.17	Franca Arcillosa	3062
	TC-50	35.72	34.89	37.36	Franca Arcillosa	3057

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

La **muestra TO** presenta suelos con los porcentajes de la fracción arcilla con menor dispersión entre los tres puntos de muestreo, variando entre 21,99% y 48.4. En cuanto a la fracción arena, sus porcentajes varían entre 46,48% y 60,45%.

La **muestra TA**, presenta suelos con los porcentajes de arcilla entre 19,36% y 46.28%, rango que se asemeja al TO, con excepción del punto TA-50, que presenta un valor extremo de 36,28%. Los porcentajes de arena varían entre 31,83% y 48,40%, siendo el transecto que presenta la menor dispersión.

La **muestra TB**, presenta suelos con porcentajes de arcilla relativamente bajos, comparado con TA y TB, entre 11,05% y 15,81%. En el caso de la arena, su porcentaje varía entre 36,45% y 49.28% cuyo rango es semejante a los de TA y TB, con excepción del punto TB-10.

La **muestra TC**, presenta suelos con porcentajes de arcilla relativamente altos, comparado con TO, TA y TB, entre 37,36% y 43.17%. En el caso de la arena, su porcentaje varía entre 28.89% y 35.72%, cuyo rango es semejante a los de TA.

En cuanto a la fracción de Limo, los porcentajes se mantienen cercanos entre los tres transectos: TO = 24,62% a 34,17%; TA = 31,89% a 39,51%; TB = 28,66% a 37.72%; TC=34,89% a 35,12%.

En cuanto al análisis de textura del caserío Apalina Alta, se observó que los porcentajes de cada fracción de forma aislada en los cuatro transectos, presentan relación con la altitud de comportamiento con respecto a la periodicidad de lluvias, en el caserío Apalina Alta, a continuación en la siguiente figura se detalla los resultados del análisis granulométrico de los 12 puntos de muestreo (Ver Figura 23):

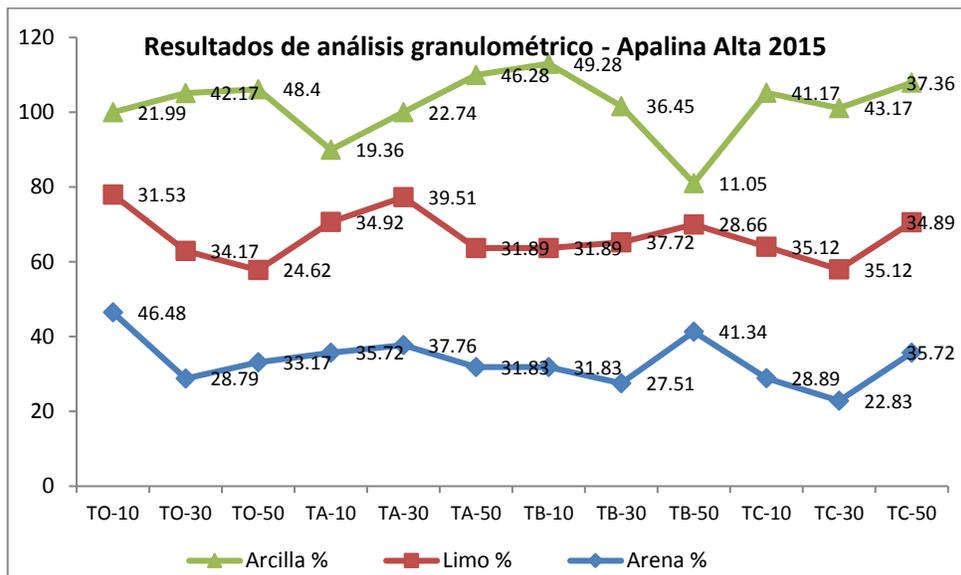


Figura 23. Resultados del análisis granulométrico, caserío Apalina Alta.
Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

En la Figura 23 de Promedios obtenidos de análisis granulométrico de Apalina Alta, después de realizar las pruebas de laboratorio durante el periodo de estudios, se aprecia que el mayor punto de muestreo es en TO-10 con 46.48% de arena, encontrado en la zona O, que corresponde a la parcela Apalina Alta, del caserío Apalina Alta, que presunta una altitud de 3120 msnm, con una clasificación de *Franco Arcillosa*. En cuanto al segundo punto encontrado más significativo es en TO-50 con 48.4% de arcilla, encontrado en la zona O, que se clasifica en *Franco Arcillosa*.

A partir de los porcentajes de tres fracciones, se clasificaron las muestras del suelo según el sistema del USDA (Ver Tabla 25). De los 12 puntos muestreados, 7 muestras de suelo, distribuidas entre las cuatro zonas, presentan la clase textural **Franco**

Arcillosa (TO-30, TO-50, TA-50, TB-10, TC-10, TC-30, TC-50). Así como también, encontró un punto de muestreo TB-50 que pertenece a la clase textural **Franca Arenosa**. Otras clases texturales que se presentan en las plataformas son 03 puntos de muestreo, que arrojan la clasificación de suelos **Franco** (T0-10, TA-10 y TA-30) y su punto de muestreo el TB-30 que clasifica al suelo como Franco arcillo limoso.

Para mayor explicación se analizó el promedio total de textura por zonas de parcela durante el periodo de estudios, como se muestra a continuación:

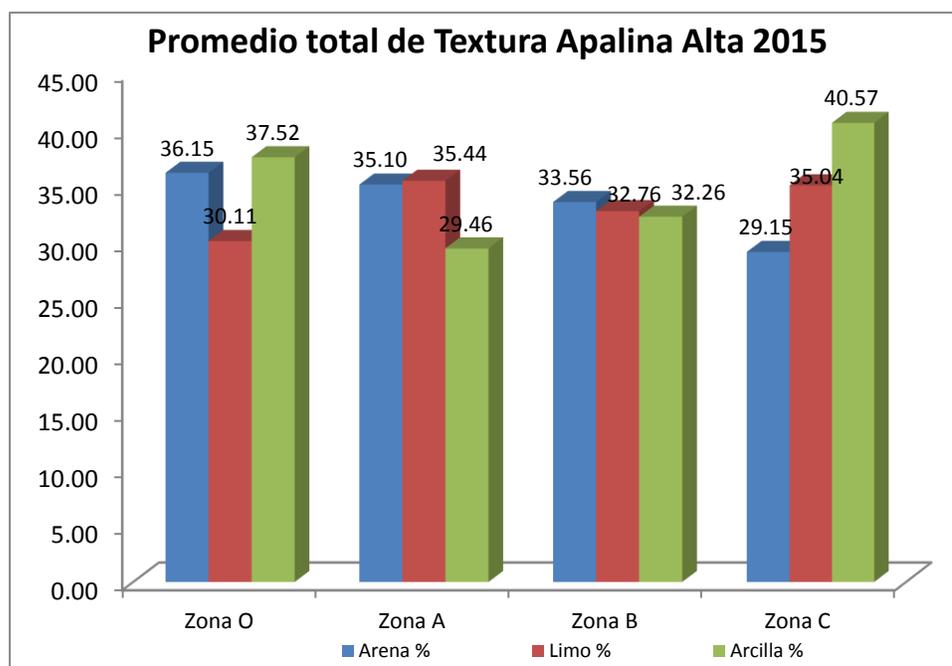


Figura 24. Promedio total de análisis granulométrico de Apalina Alta.
Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

En la Figura 24, se muestra los promedios totales obtenidos de textura de Apalina Alta, durante el periodo de estudios, después de realizar las pruebas laboratorio experimental Baños del Inca

INIA Cajamarca, se aprecia que la zona que presenta mayor porcentaje de arcilla es la Zona C con 40.57% que se encuentra en la parcela, Los pinos del caserío Apalina Alta, ubicada a una altitud de 3074 msnm, seguido de la Zona O, con 37.52%; que se encuentra en la parcela Apalina Alta, del caserío Apalina Alta, ubicada a una altitud de 3120 msnm.

En la Zona A, se aprecia que existen suelos homogéneos en igual porcentaje de arena y limo en 35.44% y la Zona B, se aprecia una homogeneidad con suelos arcillosos y limosos con una diferencia de 0.5% siendo el punto de muestreo más sobresaliente el TB-50 llegando a 33.56 % por lo que, se concluye que esta zona según la clasificación del triángulo textural pertenece a suelos franco arcillosos.

En cuanto al limo, la zona que presenta el mayor porcentaje representativo de Limo es la Zona A, que presenta un mayor porcentaje de 35.44% que se encuentra en la parcela Cardón del caserío Apalina Alta, ubicada a una altitud de 3112, seguido de la Zonas C con 35.04% y la Zona B, con 32,76%. Por lo que se concluye que esta zona según la clasificación del triángulo de las clases texturales de suelo pertenece a suelos arcillosos.

a. Densidad aparente

El valor mínimo de D.A. es 1,35 g/cm³, que corresponde al punto TO-10; mientras que el valor más alto es de 1,85 g/cm³, correspondiente al punto TC-50. Los valores más altos, en conjunto, están en TC, entre 1,69 g/cm³ a 1,85 g/cm³, pero a su vez son los más homogéneos entre sí. TO presenta valores que

varían entre 1,35 g/cm³ a 1,68 g/cm³; TA, entre 1,46 g/cm³ a 1,75 g/cm³, TB, entre 1,66 g/cm³ a 1,83 g/cm³ (Ver Tabla 26).

Tabla 26. Resultados del análisis de densidad aparente

ZONA	Código Muestra	D.A. (g/cm ³)
Zona O	TO-10	1.35
	TO-30	1.68
	TO-50	1.69
Zona A	TA-10	1.51
	TA-30	1.65
	TA-50	1.75
Zona B	TB-10	1.66
	TB-30	1.83
	TB-50	1.58
Zona C	TC-10	1.76
	TC-30	1.68
	TC-50	1.45

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

Un aspecto común en TO y TA es que los valores aumentan conforme se va ladera abajo; mientras que en TB no se presenta ningún tipo comportamiento en relación con la altitud.

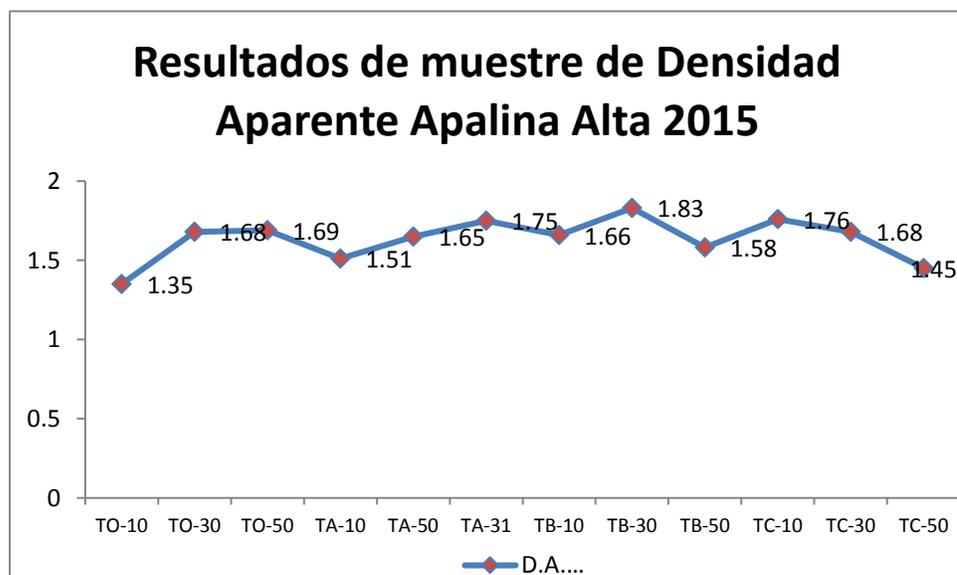


Figura 25. Resultados de Densidad Aparente del caserío Apalina Alta.

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

En la Figura 25 de Promedios obtenidos de Densidad Aparente de Apalina Alta, después de realizar las pruebas de laboratorio durante el periodo de estudios, se aprecia que en las Zonas TO y TA, los valores de D.A, tienden a aumentar conforme se va ladera abajo como se presenta su altitud en 3120, 3112 msnm respectivamente; mientras que en TB y TC, no se presenta relación de ningún tipo de comportamiento en relación con la altitud.

Promedio total de Densidad Aparente por parcela en cada zona

Tabla 27. Promedio de D.A

	D.A. (g/cm ³)
Zona O	1.547
Zona A	1.64
Zona B	1.69
Zona C	1.63

Fuente: Elaboración propia, 2016

Para el análisis total promedio de la Densidad Aparente del caserío Apalina Alta, se recurrió a la literatura del USDA, como se detalla a continuación:

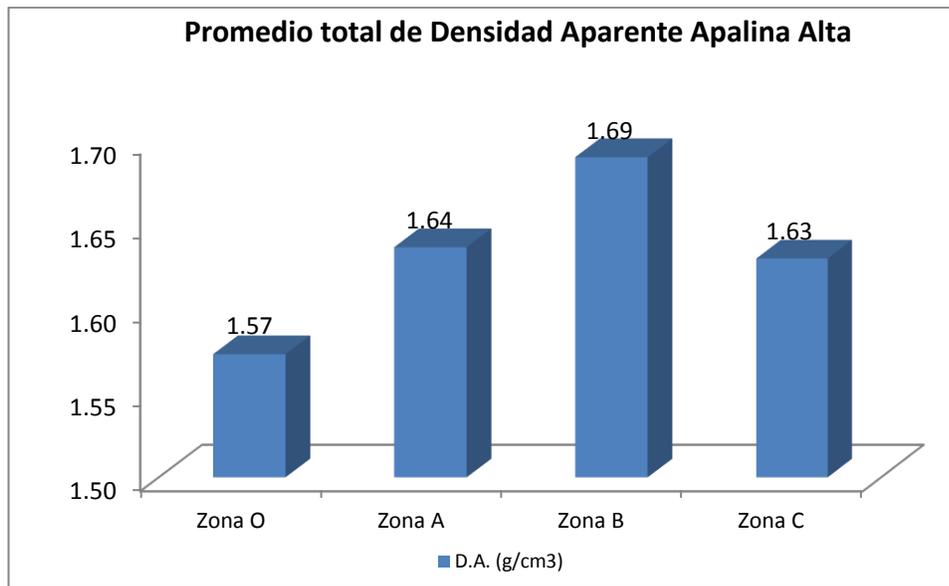


Figura 26. Promedio total de Densidad Aparente - Apalina Alta.
Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

En la Figura 26 de Promedio total de Densidad Aparente Apalina Alta, se aprecia que los suelos con mayor D.A, se concentran en la Zona B con 1.69 g/cm^3 que no abarca a ninguna clasificación de textural en cumplimiento con el rango entre $1,55$ y $1,69 \text{ g/cm}^3$ de la USDA. Lo que indicaría que la Zona B, presenta una compactación del suelo, debido al volumen acumulado de las precipitaciones, posible paso del ganado, o al paso de los años en que la tierra no ha sido removida.

Según lo dichos anteriormente las muestras de la zona A y C también estaría por encima del rango establecido. Solo la zona O, estaría dentro de las condiciones óptimas $1,55$ y $1,60 \text{ g/cm}^3$; que correspondería a la clase textural de franco arenosa,

De los puntos de muestreos TO-10 y TC-50 tienen una D.A. dentro de su intervalo ideal, que cumplen con los parámetros establecidos de las 12 muestras.

Tabla 28. Resumen de Puntos de muestreo D.A

Puntos de muestreo	D.A g/cm ³	Clasificación textural
TO-10	1.35	Franca Arcillosa Limoso
TA-10	1.51	Franco Arcillo Limoso
TB-50	1.58	Franco Arcillo Limoso
TC-50	1.45	Franca Arcillosa Limoso

Fuente: Elaboración, propia 2015

De la Tabla 28, de resumen de puntos de muestreo, se aprecia que TA-10 y TB-50, presentan suelos Franco Arcillo Limoso, que afecta el crecimiento de raíces de las plantas. Valores altos de densidad aparente son indicadores de baja porosidad y compactación de suelo. Una densidad aparente alta en el suelo impacta la disponibilidad de agua para las plantas desde el suelo, el crecimiento de raíces y el movimiento de aire y agua a través del suelo. La compactación aumenta la densidad aparente, reduce el rendimiento de los cultivos, siendo su límite permisible de <1.4, 1.55 a >1.65.

b. Potencial de hidrógeno

El valor de pH del suelo del caserío Apalina Alta, resultó del promedio de las tres lecturas (Figura 29). El resultado final es acompañado de la desviación estándar, cuyo número refleja que no ha habido una variación significativa entre las tres lecturas. Estas se hicieron directamente en la solución, con una temperatura entre 18 y 22°C.

Tabla 29. Lecturas de pH del suelo, tres lecturas por cada muestra

ZONA	Código Muestra	t Lectura	T (°C)	Ph	\bar{X} Ph	S
Zona O	TO-10	0	19,1	3.47	4.14	±0.656
		30'	19,3	4.18		
		60'	19,3	4.78		
	TO-30	0	18.4	4.47	6.14	±1.463
		30'	18.8	7.18		
		60'	19.1	6.78		
	TO-50	0	18.7	5.47	5.26	±0.987
		30'	19.1	4.18		
		60'	19.3	6.12		
Zona A	TA-10	0	19.5	3.47	4.86	±1.269
		30'	18.7	5.96		
		60'	20.1	5.14		
	TA-30	0	19.6	5.87	5.80	±0.643
		30'	17	6.4		
		60'	17.9	5.12		
	TA-50	0	19.6	4.89	4.88	±0.870
		30'	19.9	4.01		
		60'	19.9	5.75		
Zona B	TB-10	0	19.1	5.89	5.58	±0.730
		30'	19.9	6.11		
		60'	20.1	4.75		
	TB-30	0	20.6	6.57	5.60	±1.007
		30'	20.3	4.56		
		60'	20.1	5.67		
	TB-50	0	21.7	4.9	5.59	±0.623
		30'	22	6.11		
		60'	21.3	5.76		
Zona C	TC-10	0	18,3	5.68	5.35	±0.412
		30'	18,1	5.49		
		60'	19,1	4.89		
	TC-30	0	17.9	4.96	5.82	±0.886
		30'	19.9	5.78		
		60'	20.6	6.73		
	TC-50	0	21.3	6.87	6.28	±0.996
		30'	19.1	6.84		
		60'	20.9	5.13		

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

En general, las muestras se concentran en torno a un pH 5.39. El valor mínimo de pH es 3.47 que corresponde al punto TO-10, y el valor máximo es de 6.87 del punto TC-50 siendo el único por encima de pH 6. (Ver Tabla 29)

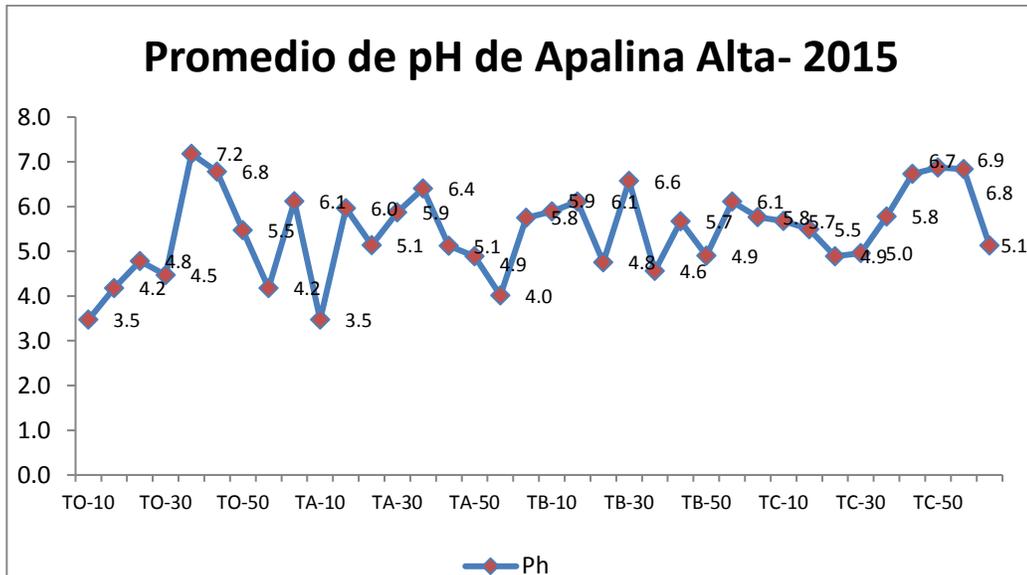


Figura 27. Resultados de promedio de pH, caserío Apalina Alta.
Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

En la Figura 27 de Promedios obtenidos de pH, de Apalina Alta, después de realizar las pruebas de laboratorio durante el periodo de estudios, se aprecia que clasificando los valores de pH según el sistema del USDA, los suelos en la Zona TO van de pH Extremadamente Ácido a Fuertemente Ácido.

Los valores de pH en la Zona TB son más altos, de Medianamente ácido a Fuertemente ácido; mientras que en Zona TA, el rango de los valores alcanzados es más amplio, con suelos de pH de Muy Fuertemente Ácido a Fuertemente Ácido. Las zonas O y C coinciden con tener los valores de pH más elevados pero en C se observa un comportamiento claro que todos son Fuertemente Ácido, a continuación se detalla:

Tabla 30. Resultados del análisis de pH y su clasificación

ZONA	Código Muestra	Temperatura (°C)	pH	Desviación estándar	Clasificación pH
Zona O	TO-10	19.2	4.1	0.656	Extremadamente ácido
	TO-30	18.8	6.1	1.463	Ligeramente ácido
	TO-50	19.0	5.3	0.987	Fuertemente ácido
Zona A	TA-10	19.4	4.9	1.269	Muy fuertemente ácido
	TA-50	18.2	5.8	0.643	Medianamente ácido
	TA-31	18.9	5.3	1.269	Fuertemente ácido
Zona B	TB-10	19.70	5.58	0.73	Medianamente ácido
	TB-30	18.9	5.6	1.269	Medianamente ácido
	TB-50	19.2	5.5	0.730	Fuertemente ácido
Zona C	TC-10	19.3	5.5	1.169	Fuertemente ácido
	TC-30	19.1	5.5	0.730	Fuertemente ácido
	TC-50	19.2	5.5	1.269	Fuertemente ácido

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

Clasificando los valores de pH según el sistema del USDA, los muestreos totales de pH analizados en las 04 zonas del caserío Apalina Alta 2015. Presentan:

Tabla 31. Resultados del análisis de pH y su clasificación

Zonas	T (°C)	Ph	\bar{X} Ph	s
Zona O	19.011	5.181	5.181	1.035
Zona A	19.133	5.179	5.179	0.927
Zona B	20.567	5.591	5.591	0.787
Zona C	19.467	5.819	5.819	0.765
Promedio	19.544	5.443	5.443	0.878

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

En cuanto al comportamiento de los valores en relación a la posición en la ladera, de las zonas estudiadas presentan valores relativamente homogéneos y constantes a lo largo del transecto,

con un valor promedio (\bar{X}) de 5.443 y presentando una desviación estándar (S) de 0,878.

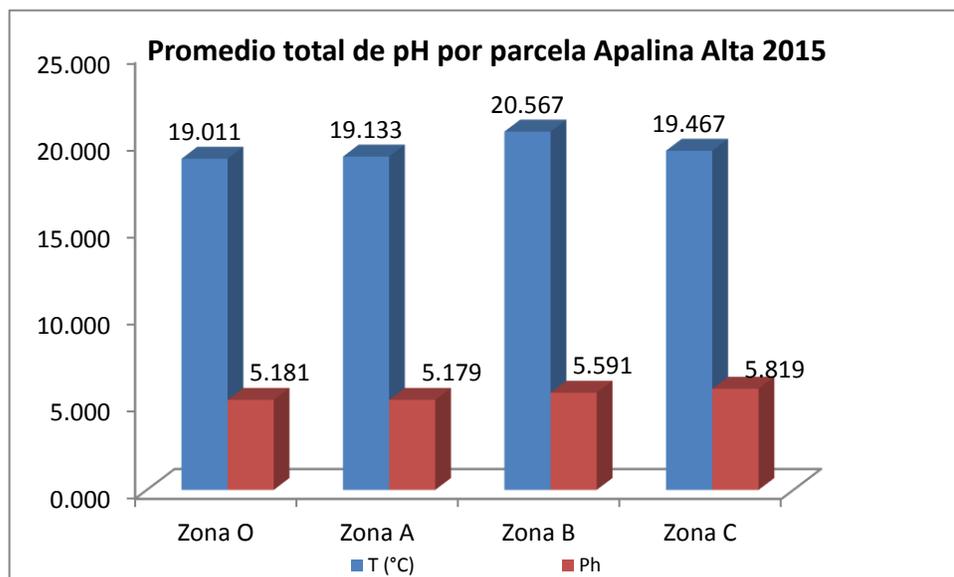


Figura 28. Resultados de promedio total de pH, caserío Apalina Alta.
Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

En la Figura 28 de promedio total de pH, después de realizar las pruebas de laboratorio durante el periodo de estudios, se aprecia que existe una diferencia marcada en los suelos de las diferentes parcelas estudiadas del caserío; los cuales presentan en las 04 zonas de estudio pH bajos todos con un promedio de 5.44 de pH, medida en una temperatura máxima de 20.5 °C, por lo que al evaluar los resultados de pH en los perfiles O y A no se encuentran dentro del rango de valores óptimos por lo que se resume el total de clasificaciones analizadas en el caserío Apalina alta, durante el periodo de estudios de la presente tesis profesional.

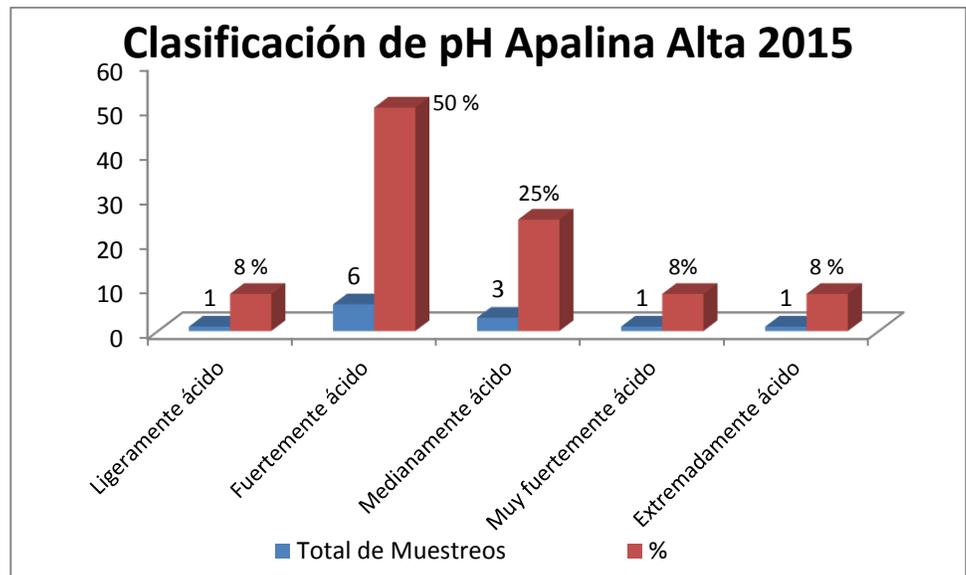


Figura 29. Clasificación total de muestreos de pH, caserío Apalina Alta.
Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

En la Figura 29 de clasificación total de pH, se aprecia que los suelos del caserío de Apalina Alta presentan los siguientes resultados: De los 12 puntos de muestreo que se analizaron 06 muestreos presentan un pH *Fuertemente Ácido* que presentan el 50% de todas las muestras de estudio (TO-50, TA-31, TB-50, TC-10, TC-30, TC-50), seguido 03 muestreos presentan un pH *Medianamente Ácido* que presentan el 25% de todas las muestras de estudio (TA-50, TB-10 y TB-30), continuado con 02 puntos de muestreos presentan pH (Muy fuertemente ácido y Extremadamente ácido) que presentan el 8% respectivamente, solo una muestra de estudio presenta un pH de 6.1 considerado como ligeramente ácido que pertenece a la muestra TO-30.

Las condiciones de pluviosidad en el caserío Apalina Alta, influyen en el nivel de pH. El exceso de precipitaciones hace que se pierdan los iones solubles por lixiviación y, en consecuencia, se produce una acidificación del suelo. Por el contrario, el déficit

hídrico en el perfil del suelo produce alcalinidad, debido a que ocurre un ascenso de agua con iones por capilaridad, lo que resulta en altas concentraciones de cationes básicos. (Gallegos, 1997)

Resultado de macronutrientes: P, K, M.O y Al.

En las 04 zonas estudiadas durante el periodo de estudios de la presente tesis profesional se concluye que el contenido de los macronutrientes no muestra un comportamiento diferenciado en relación con la altitud. A continuación el resultado de macronutrientes encontrados:

Tabla 32. Resultados de macronutrientes P, K, M.O y Al

ZONA	Código Muestra	P(ppm)	clase	K (ppm)	clase	M.O %	clase	Al Meq/100g	clase
Zona O	TO-10	12.40	Normal	210.0	Alto	12.2	Muy alto	0.4	Bajo
	TO-30	8.11	Bajo	175.0	Medio	11.6	Muy alto	1.6	Bajo
	TO-50	8.94	Bajo	190.0	Medio	11.3	Muy alto	5.9	Medio
Zona A	TA-10	12.80	Normal	180.0	Medio	13.4	Muy alto	3.9	Bajo
	TA-50	9.46	Bajo	133.5	Bajo	12.0	Muy alto	2.7	Bajo
	TA-31	13.90	Normal	164.8	Medio	10.6	Muy alto	6.6	Medio
Zona B	TB-10	9.41	Bajo	175.00	Medio	12.51	Muy alto	1.45	Bajo
	TB-30	15.63	Normal	149.5	Bajo	10.4	Muy alto	6.7	Medio
	TB-50	15.60	Normal	205.0	Alto	9.0	Muy alto	4.8	Medio
Zona C	TC-10	10.49	Bajo	140.3	Bajo	7.2	Muy alto	4.9	Medio
	TC-30	6.34	Bajo	119.6	Bajo	11.3	Muy alto	3.1	Bajo
	TC-50	7.24	Bajo	145.4	Bajo	6.7	Muy alto	11.8	Elevado y limitante

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

Lo que sí se observa a primera vista, es que TB presenta los contenidos más altos, tanto para P y K; mientras que TA muestra valores similares.

El contenido de Fósforo, en la muestra TB, varía entre 9.41 y 15.63 ppm, presentando los valores más altos; en la muestra TC varía entre 6.34 y 10.49 ppm, presentándose, en promedio, los valores más bajos, en TO varía entre 8.11 y 12.40 ppm, y en TA varía entre 9.46 y 13.90 ppm, como se detalla a continuación en la figura 25:

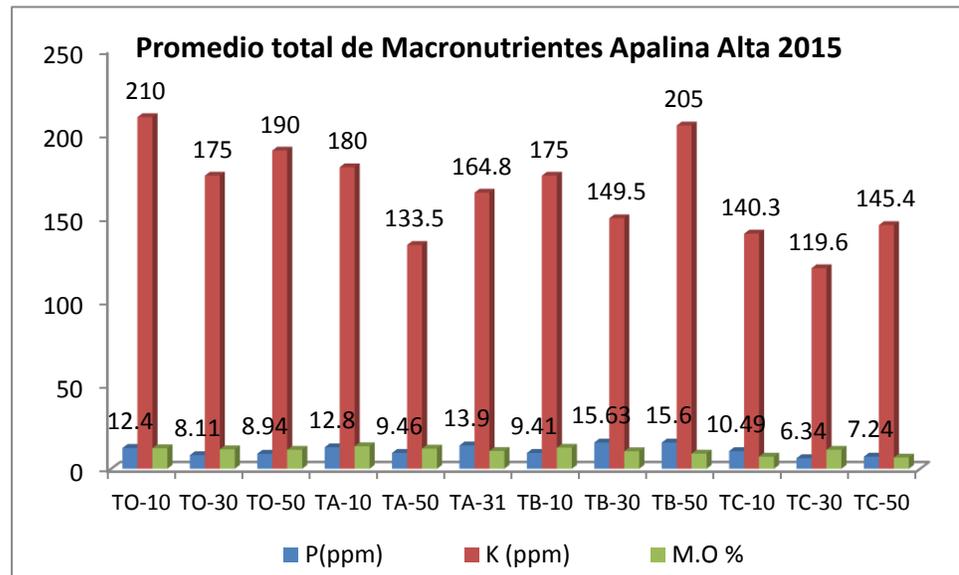


Figura 30. Promedios de macronutrientes de Apalina Alta.
Fuente: Laboratorio Inía, Cajamarca 2015.

En la Figura 30 de Promedios obtenidos de macronutrientes de Apalina Alta, después de realizar las pruebas de laboratorio durante el periodo de estudios, se aprecia que el potasio es el elemento más preponderante con 205 ppm, de la muestra TB-50, que pertenece a la zona B, de la parcela La

colpa a una altitud de 3118 msnm, seguido de la muestra TO-10 con 210 ppm. Apalina Alta.

En relación con el aluminio, se encontró que en todas las parcelas de las 12 muestras tienen la presencia de aluminio en la siguiente proporción:

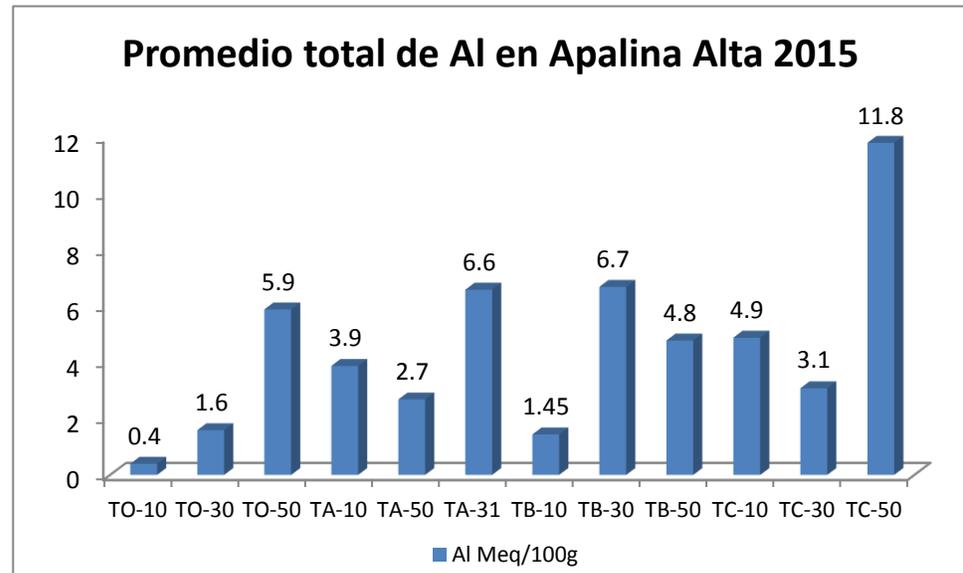


Figura 31. Promedios de aluminio de Apalina Alta.
Fuente: Laboratorio Inía, Cajamarca 2015.

En la Figura 31, se aprecia los resultados más relevantes de los diferentes puntos de muestreo encontrados en el punto TC-50 con 11.8 Meq/100, seguidos los puntos TB-30 con 6.7 Meq/100, punto TA-31 Y TO-50 con 5.9 Meq/100, del caserío Apalina alta. Lo que deriva que los suelos encontrados del caserío Apalina Alta, al presentar suelos muy ácidos el aluminio retenido en las arcillas se disuelve en el suelo aumentando su toxicidad, ya que las partículas cargadas positivamente llamadas aniones dificultan el crecimiento de las plantas.

De hecho la toxicidad causada por el aluminio en suelos ácidos limita la producción del cultivo de las zonas en muestreo del

caserío de Apalina Alta. La concentración de Al, aumenta en suelos con pH ácido y afecta negativamente el desarrollo de la mayoría de especies vegetales, especialmente en aquellos cuyo pH es menor a 4,5, el aluminio se solubiliza y se convierte en su catión trivalente Al^{3+} , que en alta cantidad es tóxico para la planta. La acidez del suelo hace que las raíces estén siempre expuestas al aluminio. La acidificación es una de las causas más importantes de degradación de los suelos agrícolas a nivel mundial. (Gallegos, 1997)

CAPITULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. Prueba de hipótesis general

En el presente trabajo de investigación se elaboró la siguiente hipótesis: *H: Los suelos agrícolas con influencia minera del caserío de Apalina Alta, presentan fertilidad natural baja*”.

Si, se acepta la hipótesis, según Gallegos, 1997, teniendo como resultado que la muestra de suelos analizados del caserío Apalina Alta presenta una profundidad efectiva 15 a 40%; Textura de la tierra: 15 a 35%, Alivio: 20 a 45%; Fertilidad: 28.90%, Drenaje: > 15%; Restricciones a mecanización: 0.55% y Susceptibilidad a la erosión: 0.11% (Gallegos, 1997).

4.2. Prueba de hipótesis Específicos

Hipótesis Secundarias

***HE₁**: La fertilidad física de los suelos del caserío Apalina Alta, presenta un nivel medio.*

Sí, se acepta la primera hipótesis Específica, porque el análisis de las muestras de suelos presenten fertilidad natural media porque en las 04 parcelas analizadas que corresponden a la Zona O, Zona C, son representativos los muestreos para la textura de suelo arcilloso (Ver Figura 24)

***HE₂**: La fertilidad química de los suelos del caserío Apalina Alta, presenta un nivel bajo.*

Si, se acepta la segunda hipótesis específica, porque el resultado de las muestras de suelo no son las ideales para cultivos, de esa zona, se necesitan suelos bien drenados, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm³ (1.3 - 1.4 g/cm³ en suelos arenosos), con un adecuado equilibrio entre los poros dado que se encontró en el análisis de muestreos del suelo de Apalina Alta, valores de pH de Muy Fuertemente Ácido a Fuertemente Ácido.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se determinó el nivel fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta, donde los factores analizados en el laboratorio de INIA Cajamarca, fueron físico y químico concluyendo que el nivel de fertilidad natural es de tipo baja de un 15 a 55% de comprobación.

El nivel de fertilidad física de los suelos del caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015, fueron obtenidos de 12 puntos de muestreo. Con respecto a la textura se analizaron los 12 puntos de muestreo donde: 07 muestras de suelo, presentaron la clase textural Franco Arcillosa (TO-30, TO-50, TA-50, TB-10, TC-10, TC-30, TC-50), 01 punto de muestreo TB-50, pertenece a la clase textural Franca Arenosa y 03 puntos de muestreo, arrojan la clasificación de suelos Franco (T0-10,

TA-10 y TA-30) y 01 punto de muestreo TB-30 resultó, Franco arcillo limoso. Con respecto a la densidad aparente, se obtuvo que la zona TO-10 presenta 1.35 g/cm^3 que clasifica en textura al suelo como Franca Arcillosa, Limoso.

El nivel fertilidad químico de los suelos del caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015. Fueron obtenidos de 12 puntos de muestreos, distribuidos en 04 zonas donde se aprecia que el potasio (K) presenta valores asimilables y se catalogó como alto, con 205 ppm, de la muestra TB-50, que pertenece a la zona B, en relación con el fósforo el mayor punto de muestreo lo presenta en la zona B, con 15.63 en TB-30, apreciándose la ausencia de éste por ser suelos ácidos. En cuanto al pH, se encontró un promedio de 5.443 concluyendo que el caserío presenta suelos Fuertemente ácido y con respecto al aluminio, se aprecia que el punto TC-50 presenta 11.8 Meq/100., del caserío Apalina alta. Lo que deriva que los suelos encontrados al presentar suelos muy ácidos el aluminio retenido en las arcillas se disuelve en el suelo aumentando su toxicidad, ya que las partículas cargadas positivamente llamadas aniones dificultan el crecimiento de las plantas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda al gobierno regional de Cajamarca preocuparse por el caserío de Apalina alta que presenta el 66% de la superficie del caserío valores deficientes de fósforo, potasio, M.O y un pH Fuertemente Ácido.

Se recomienda la corrección del nivel de aluminio de los suelos muestreados mediante la incorporación de productos encalantes o calcáreos.

Se recomienda la corrección de los niveles de M.O, P, K; de los suelos muestreados que sean de acuerdo a los parámetros que requiere cada tipo de sembrío para así mejorar las producciones agrícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, O. (2007). “*Aluminio un indicador de calidad ambiental en el suelo carga variable*”. Universidad Autónoma Estado de Hidalgo: Instituto de Ciencias Básicas Ingeniería Área Académica de Química. 115 p.

Aguado, G. (2002). “*El potasio del suelo*”. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. 110 p.

Bernad, I; Sanz G. Dorado. (2009). “*Técnicas de recuperación de suelos contaminados*”. Fecha de consulta c/04/07/2016. Alcalá. España. 79 p.
(Bernad & Dorado 2009).

Bornemisza E. (1982). “*Introducción a la Química de Suelos*”. Universidad de Costa Rica, San José. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía No. 25 .21-47 p.

Bossi, J; Ortiz, A; Caggiano, R; Olivera, C. (2011). Manual didáctico de geología para estudiantes de agronomía. Universidad República. 158 p.

Casanova, M. (2010). Estudios de suelos. Departamento de ingeniería y suelos Facultad de CS. Agronómicas. Universidad de Chile.29 p.

Contreras, P. (2005). Suelos Contaminados con Hidrocarburos: RNA 16S como Indicador de Impacto. Tesis Ingeniero Civil en Biotecnología, Universidad de Chile. Chile.150 p.

Funach, A. (2010). “*Propiedades físicas químicas y Conservación. Ministerio de agricultura y desarrollo rural programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria*”. Prognata. Mocoa. 160 p.

Gallegos, A. (1997). *“La aptitud agrícola de los suelos”*. México. Trillas. 3ed. 164 p.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIVA). (2014). *“Estudio prospectivo de las principales propiedades químicas de suelos agrícolas”*. Chile. 218 p.

Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). (2013). *“Estadística de estudios de fertilidad de caseríos - Región Cajamarca”*. Cajamarca. Perú. 58 p.

Instituto Nacional de Estadística e información INEI. 2010. *“Estadística de caseríos de la Región Cajamarca”*. Cajamarca. Perú. 58 p.

Lobos, C. (2008). *“Efectividad de biosólidos para la fitoestabilización de relaves mineros, en la comuna de nogales”*, Tesis profesional de la universidad de Chile. 128 p.

Magra, G; Ausilio, A. (2004). *“Corrección de la acidez de los suelos”*, facultad de ciencias Agrarias, Tesis profesional de la universidad de Rosario. 56 p.

Olguín, F. (2011). *“Mecánica de Suelos. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería”*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 150 p.

Poma, W y Alcántara, G. (2011). Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca. Perú. 150 p.

Porta, J; López, M & Roquero D. C. (2003). *“Edafología para la agricultura y el medio ambiente”*, 3era. ed.; Impreso en España, Ediciones Mundi-prensa. 129 p.

PRONAMACHCS, (2010). “*Degradación del suelo*”. Capítulo V. 265 p.

Rodríguez, et al. (1999). “*Estudio la fertilidad de suelos de la zona de san Miguel*”. Trabajo de tesis Universidad Nacional de Cajamarca. San miguel. Cajamarca. Perú. 139 p.

Sposito, G. (1989). *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press. 277 p.

Terrazas, M. (2007). “*Caracterización y comparación de dos perfiles bajo diferente uso del suelo y diagnóstico nutrimental en el área agrícola*” México. 110 p.

Valencia, C. (2000). “*Química de suelos o química de coloides*”. 37 p.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Tabla 33. Nivel de fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta Cajamarca, 2015.

Problema	Hipótesis	Objetivo	Variable	Definición conceptual	Indicadores	Metodología	Fuente	Técnica	Instrumento
¿Cuál es el nivel de fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015?	General -Los suelos agrícolas con influencia minera del caserío de Apalina Alta, presentan fertilidad natural media.	Objetivo general: - Determinar el nivel fertilidad natural de los suelos con influencia minera en el caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015.	Fertilidad Física	Disciplina científica que integra los principios de la, física del suelo para desarrollar las prácticas de manejo de los nutrientes.	Textura	Tipo de Investigación Investigación experimental Nivel de Investigación nivel descriptivo Método de investigación Hipotético deductivo Diseño de Investigación - Cuantitativa, Población Se considera como universo del presente trabajo de investigación a las 19 parcelas seleccionadas del caserío de Apalina Alta, del distrito de Cajamarca, durante el año 2016. Muestras Se considera como muestra a las 12 muestras realizadas de las 04 parcelas seleccionadas en el Laboratorio de INIA Cajamarca, obtenidas del caserío de Apalina Alta, durante el periodo de ejecución del presente trabajo de investigación.	Lectura directa	Muestras de análisis obtenidas en las UA Análisis de laboratorio	Data del programa de Laboratorio de INIA Cajamarca.
	Específicas -La fertilidad física de los suelos del caserío Apalina Alta, presenta un nivel medio. -La fertilidad química de los suelos del caserío Apalina Alta, presenta un nivel medio.	Objetivo específicos - Determinar el nivel de fertilidad física de los suelos con influencia minera del caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015. -Determinar el nivel fertilidad química de los suelos con influencia minera del caserío Apalina Alta, Cajamarca 2015.			Fertilidad del suelo				
			Fertilidad Química	M.O		P			
					K	AI			

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Anexo 2. Población de trabajo de investigación Apalina Alta 2015

Tabla 34. Población de estudio Apalina Alta 2015

Caseario	Lugares de muestreo	Colindantes
Apalina Alta- Yanacancha Grande	1	Néstor Ortiz Barrantes
		Segundo Herrera Tasilla
		Edwin Cabanillas Tafur
		Mariel Cabanillas Jambo
	2	Lidia Pompa Huaripata
		Ernesto Ortiz Barrantes
		Carlos Herrera Portal
	3	Celestino Herrera Herrera
	La banda	Emiliano Cabanillas Valdez
	Cardón	Edilberto Cabanillas Valdez
		Julio Cabanillas Valencia
		Luis Cabanillas Valencia
		Segundo Cabanillas Valencia
		Miguel Cabanillas Valencia
	F- lagunas	Juan Julcamoro Valdivia
	Ladera – 1	Bacilio Julcamoro Valdivia
	H- Grande	Bernabé Julcamoro Valdivia
	Colpa 1-2	Domidel Malca Chuquimango
		Ana Pompa Arana
		Vicente Pompa Huaripata
		Luis Pompa Huaripata
		Severino Valdivia Castrejón
		Celso Pompa Huaripata
		Seberino Chalan Ramos
	C río	Segundo Valencia Cueva
		Paulina Yopla Cueva
	C Corral	Eugenio Cabanillas Jambo
		Marleny Cabanillas Jambo
		Oscar Cabanillas Jambo
		Mariel Cabanillas Jambo
C Colegio	Carmen Valencia Cabanillas	
	Sergio Herrera Herrera	
Las Curvas	Sebatian Rojas Flores	
	José Carrasco Herrera	
Los Pinos	Maria Castrejón Herrera	
	Tomas Carrasco Chuquimango	
Pachan	Andrés Carrasco Herrera	
El puquio	Nicolás Julcamoro Villanueva	
El puente	Ariela Castrejón Herrera	
Orilla del río	José M. Valencia Cabanillas	
Ladera 1	Bacilio Julcamoro Valdivia	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Anexo 3. Lecturas del hidrómetro - 2015

Tabla 35. Lecturas del hidrómetro (g/L), dos submuestras

Código	Tiempos de lectura (ASTM International D422-63)						
	40"	2'	5'	15'	30'	60'	120'
TO-10	28,7	24,2	20,7	17,7	15,17	13,7	11,6
	24,8	22,1	19,7	17,3	15,2	12,4	10,4
TO-30	26,4	22,4	19,2	17,2	16,2	14,3	11,6
	26,7	22,1	19,9	16,2	15,1	12,4	10,4
TO-50	18,5	16,4	14,7	10,6	9,1	8,2	8,0
	22,3	18,6	16,4	12,2	11,3	9,3	8,2
TA-10	26,7	22,9	19,5	16,3	14,3	11,8	9,5
	27,6	23,6	20,6	16,8	14,6	11,8	9,8
TA-30	30,7	26,9	19,5	16,3	14,3	11,8	9,5
	31,6	27,6	23,9	19,9	17,0	14,1	12,2
TA-50	34,6	30,6	27,6	24,7	22,7	19,8	18,0
	33,5	29,5	27,5	24,3	22,5	20,2	18,3
TB-10	30,6	24,3	20,6	15,7	13,7	11,6	9,8
	30,6	25,2	21,1	16,4	15,4	13,4	9,5
TB-30	25,9	21,7	18,2	14,7	13,1	11,4	9,8
	26,6	21,9	18,2	14,7	14,2	11,6	10,4
TB-50	20,4	15,4	12,5	10,0	8,5	7,2	5,5
	19,2	14,7	11,7	8,9	7,8	6,7	5,5
TC-10	29,9	24,1	20,1	15,2	13,3	11,8	10,3
	30,6	25,2	21,1	16,4	15,4	13,4	9,5
TC-30	25,1	21,1	18,0	14,2	13,0	11,1	9,2
	26,6	21,9	18,2	14,5	13,7,2	11,6	10,9
TC-50	19,7	15,1	12,1	10,0	8,5	7,1	7,5
	19,2	14,7	11,7	8,4	8,9	7,9	7,9

Fuente: Laboratorio de INIA Cajamarca, 2015.

Anexo 4. Análisis granulométrico, caserío Apalina Alta 2015

Tabla 36. Análisis granulométrico, caserío Apalina Alta.

ZONA	Código Muestra	Proporción de las partículas			Clasificación textural	Altitud (msnm)
		Arena %	Limo %	Arcilla %		
Zona O	TO-10	46.48	31.53	21.99	Franca	3097
	TO-30	28.79	34.17	42.17	Franca Arcillosa	3075
	TO-50	33.17	24.62	48.4	Franca Arcillosa	3046
Zona A	TA-10	35.72	34.92	19.36	Franca	3120
	TA-30	37.76	39.51	22.74	Franca	3113
	TA-50	31.83	31.89	46.28	Franca Arcillosa	3109
Zona B	TB-10	31.83	31.89	49.28	Franca Arcillosa	3118
	TB-30	27.51	37.72	36.45	Franco arcillo limosa	3112
	TB-50	41.34	28.66	11.05	Franca Arenosa	3103
Zona C	TC-10	28.89	35.12	41.17	Franca Arcillosa	3074
	TC-30	22.83	35.12	43.17	Franca Arcillosa	3062
	TC-50	35.72	34.89	37.36	Franca Arcillosa	3057

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio INIA Cajamarca, 2015.

Anexo 5. Registro de datos INIA abril 2015

LABORATORIO DE SERVICIOS DE SUELOS

NOMBRE : **CONVENIO 2 MINERA YANACocha – INIA**

EMILIANO CABANILLAS VALDEZ

PROCEDENCIA : Apalina Alta - Encañada

Fecha: 28/ 11/ 2015

RESULTADO DE ANALISIS

Nombre de la parcela	Código laboratorio	P Ppm	K ppm	PH	M.O %	Al Meq/100g	Clas textu
Plotas	SU0001- EEBI-09	6.68	180.0	3.6	9.24	2.50	

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

CULTIVOS A SEMBRAR: RYE GRAS + TEBOL

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha
MÍNIMO	40	95	65	1.25
MÁXIMO	60	115	85	1.35

Figura 32. Registro de datos INIA abril 2015.

Fuente: Laboratorio Inía, Cajamarca 2015.

Anexo 6. Registro de datos INIA mayo 2015

LABORATORIO DE SERVICIOS DE SUELOS

NOMBRE : **CONVENIO 2 MINERA YANACOCCHA – INIA**

EMILIANO CABANILLAS VALDEZ

PROCEDENCIA : Apalina Alta - Encañada

Fecha: 28/ 11/ 2015

RESULTADO DE ANALISIS

Nombre de la parcela	Código laboratorio	P Ppm	K ppm	PH	M.O %	Al Meq/100g	Clas textu
Plotas	SU0001- EEBI-09	4.77	190.0	3.8	7.64	1.70	

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

CULTIVOS A SEMBRAR: RYE GRAS + TREBOL

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha
MÍNIMO	40	100	65	1.00
MÁXIMO	60	120	85	1.10

Figura 33. Registro de datos INIA mayo, 2015.

Fuente: Laboratorio Inía, Cajamarca 2015.

Anexo 7. Registro de datos INIA junio 2015

LABORATORIO DE SERVICIOS DE SUELOS

NOMBRE : CONVENIO 2 MINERA YANACOCCHA – INIA

EDILBERTO CABANILLAS VALDEZ

PROCEDENCIA : Apalina Alta - Encañada

Fecha: 09/ 06/ 2015

RESULTADO DE ANALISIS

Nombre de la parcela	Código laboratorio	P Ppm	K ppm	PH	M.O %	Al Meq/100g	Clas textu
Cardón	SU0008- EEBI-09	12.88	195.0	3.9	10.98	5.20	

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

CULTIVOS A SEMBRAR: RYE GRAS + TREBOL

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha
MÍNIMO	40	90	65	2.60
MÁXIMO	60	110	85	2.70

Figura 34. Registro de datos INIA junio, 2015.

Fuente: Laboratorio Inía, Cajamarca 2015.

Anexo 8. Registro de datos INIA julio 2015

LABORATORIO DE SERVICIOS DE SUELOS

NOMBRE : **CONVENIO 2 MINERA YANACocha – INIA**

JULIO CABANILLAS VALENCIA

PROCEDENCIA : Apalina Alta - Encañada

Fecha: 23/ 08/ 2015

RESULTADO DE ANALISIS

Nombre de parcela	Código laboratorio	P Ppm	K ppm	PH	M.O %	Al Meq/100g	Clas textu
Sardón	SU0002- EEBI-09	9.06	190.0	3.80	12.73	0.76	

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

CULTIVOS A SEMBRAR: RYE GRAS + TREBOL

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha
MÍNIMO	40	95	65	1.00
MÁXIMO	60	115	85	1.10

Figura 35. Promedios de macronutrientes de Apalina Alta.

Fuente: Laboratorio Inía, Cajamarca 2015.

Anexo 9. Registro de datos INIA agosto 2015

LABORATORIO DE SERVICIOS DE SUELOS

NOMBRE : **CONVENIO 2 MINERA YANACOCCHA – INIA**

BACILIO JULCAMORO VALDIVIA

PROCEDENCIA : Apalina Alta - Encañada

Fecha: 28/ 11/ 2015

RESULTADO DE ANALISIS

Nombre de la parcela	Código laboratorio	P Ppm	K ppm	PH	M.O %	Al Meq/100g	Clas textu
Parcela 1	SU2094- EEBI-08	6.68	205.0	4.1	11.48	0.18	

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

CULTIVOS A SEMBRAR: RYE GRAS + TREBOL

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha
MÍNIMO	40	95	60	0.50
MÁXIMO	60	115	80	0.60

Figura 36. Promedios de macronutrientes de Apalina Alta.
Fuente: Laboratorio Inía, Cajamarca 2015

Anexo 10. Registro de datos INIA setiembre 2015

LABORATORIO DE SERVICIOS DE SUELOS

NOMBRE : CONVENIO 2 MINERA YANACOCCHA – INIA

BERNABE JULCAMORO VALDIVIA

PROCEDENCIA : Apalina Alta - Encañada

Fecha: 28/ 11/ 2015

RESULTADO DE ANALISIS

Nombre de la parcela	Código laboratorio	P Ppm	K ppm	PH	M.O %	Al Meq/100g	Clas textu
.grande	SU2092- EEBI-08	10.49	150.0	3.0	8.62	4.30	

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

CULTIVOS A SEMBRAR: RYE GRAS + TREBOL

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha
MÍNIMO	40	90	70	2.15
MÁXIMO	60	110	90	2.25

Figura 37. Promedios de macronutrientes de Apalina Alta.

Fuente: Laboratorio Inía, Cajamarca 2015

Anexo 11. Beneficiarios que reciben asistencia técnica

Tabla 37. Relación de beneficiarios que reciben asistencia técnica

Nº	Nombres y Apellidos	parcelas Georeferenciadas	área por parcela (Has)
1	CABANILLAS VALDEZ EDILBERTO	1	1.513
		2	0.123
		3	0.364
2	CABANILLAS VALENCIA JULIO CESAR	1	2.000
3	CABANILLAS VALENCIA LUIS ALBERTO	1	2.000
4	CABANILLAS VALENCIA SEGUNDO DANIEL	1	2.000
5	CABANILLAS VALENCIA MIGUEL ANGEL	1	0.148
		2	1.275
		3	0.575
6	CABANILLAS VALENCIA LUZ ELENA	1	1.114
		2	0.886
7	JULCAMORO VILLANUEVA NICOLAS	1	1.327
		2	0.774
8	JULCAMORO VALDIVIA JUAN	1	0.211
		2	1.204
		3	0.279
		4	0.386
9	JULCAMORO VALDIVIA BASILIO	1	1.800
		2	0.205
10	JULCAMORO VALDIVIA ISOLINA	1	1.036
		2	0.652
		3	0.147
		4	0.154
11	JULCAMORO VALDIVIA BERNABE	1	2.000
12	JULCAMORO VALDIVIA JULIAN	1	1.275
		2	0.500
		3	0.232
13	YOPLA CUEVA WILBERTO	1	2.000
14	HERRERA VILLANUEVA ELOY	1	0.580
		2	0.528
15	CARRASCO CHUQUIMANGO TOMAS	1	1.100
16	CABANILLAS VALDEZ CELSO	1	1.339
		2	0.326
		3	0.541
17	CABANILLAS TAFUR EDWIN	1	1.082
		2	1.222
18	CASTREJON HERRERA MARIA CONCEPCIÓN	1	2.000
19	VALDIVIA CASTREJON JOSE ANTONIO	1	1.903
		2	0.734
		1	2.283
21	VALDIVIA SOTO ORLANDO	1	2.388
22	VALDIVIA CASTREJÓN MANUEL	1	0.466
23	VALDIVIA CASTREJON MIGUEL	2	0.724
		1	1.470
24	VALDIVIA CASTREJON JULIAN	2	0.818
		1	0.681
25	VALDIVIA CASTREJON ELEUTERIO	2	0.579
		1	0.691
		2	0.149
26	VALDIVIA ZAMORA MARIA SILVIA	3	0.791
		1	2.000
27	VALDIVIA CASTREJÓN MARIA JUANA	1	2.000
28	VALDIVIA CASTREJÓN JOSÉ SEVERINO	1	1.512
		2	0.488
29	POMPA SOTO EUGENIO	1	2.000
30	POMPA HUARIPATA VICENTE	1	2.000
31	POMPA ARANA ANA LILIANA	1	2.000
32	POMPA HUARIPATA CELSO	1	2.000
33	POMPA HUARIPATA LIDIA	1	1.448
		2	0.032
		3	0.520
34	POMPA HUARIPATA LUIS ALBERTO	1	2.000
35	MALCA CHUQUIMANGO DOMIDEL	1	2.000
36	VALENCIA CUEVA SEGUNDO SANTOS	1	0.565
		2	0.474
37	VALENCIA CABANILLAS MARIA ISABEL	1	1.309
		2	0.700
38	VALENCIA CABANILLAS SEGUNDO JESUS	1	0.173
		2	0.320
		3	0.393
39	VALENCIA CABANILLAS CARMEN ROSA	1	0.486
		2	0.268
		3	1.298

40	VALENCIA CABANILLAS JOSE MOISES	1	1.669
		2	0.321
41	VALENCIA CABANILLAS RUTH ESTHER	1	1.669
		2	0.295
42	CASTREJON HERRERA FERNANDO	1	2.000
43	VALDIVIA CHILÓN FELIPE	1	2.000
44	VALDIVIA SOTO LAZARO	1	2.000
45	HERRERA HERRERA SERGIO	1	2.000
46	HERRERA TASILLA SEGUNDO	1	2.000
47	HERRERA HERRERA CELESTINO	1	2.000
48	HERRERA PORTAL CARLOS	1	2.000
49	PAISIG QUISPE HUMBERTO	1	1.394
		2	0.391
		3	0.223
50	YOPLA CHILON JOSÉ SANTOS	1	0.370
		2	0.518
		3	1.113
51	CARRASCO HERRERA JOSE LUIS	1	1.476
		2	0.774
52	CARRASCO HERRERA ANDRES	1	1.670
		2	0.324
53	CARRASCO HERRERA JOSÉ DILBERTO	1	2.000
54	CHOLAN CHAVARRI JAIME	1	2.000
55	ROJAS FLORES SEBASTIAN	1	1.463
		2	0.473
56	ORTIZ BARRANTES ERNESTO	1	1.383
		2	0.507
		3	0.146
57	CABANILLAS VALDEZ EMILIANO	1	1.636
		2	0.463
58	CABANILLAS JAMBO EUGENIO	1	2.038
59	CABANILLAS JAMBO MARLENY	1	0.700
		2	1.500
60	CABANILLAS JAMBO MARIBEL	1	1.312
		2	0.691
61	CABANILLAS JAMBO OSCAR	1	2.210
62	FLORES HUARIPATA JOSE PASCUAL	1	2.000
63	GARCIA BERASTEGUI ALDOMIRO	1	2.000
64	CARRASCO CALUA JOSE DOLORES	1	2.000
65	YOPLA CUEVA PAULINA	1	2.000
66	CASTREJON CHUQUIMANGO CECILIO	1	2.000
67	CASTREJON HERRERA ARIELA	1	0.502
68	CHALAN RAMOS SEVERINO	1	0.118
		2	1.882
	TOTAL		131.79

Fuente: Laboratorio INIA Cajamarca, 2015

Anexo 12. Parcelas Georreferenciadas Convenio II 2015

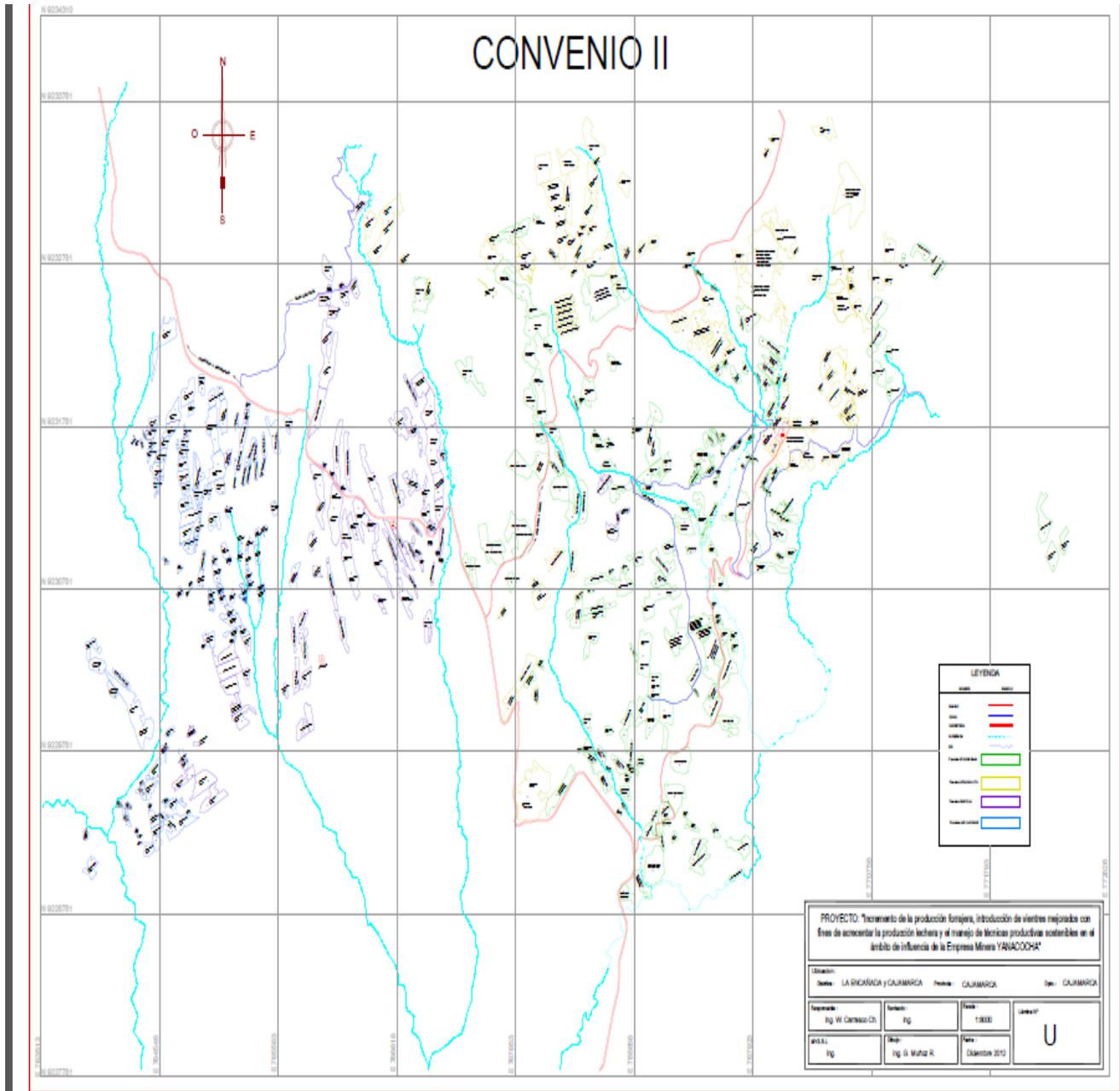


Figura 38. Parcelas Georreferenciadas Convenio II Yanacocha 2015.

Fuente: Área información UA, Yanacocha 2015.

Anexo 13. Todo lo que le ocurra a la tierra, les ocurrirá a los hijos de la tierra



Figura 39. Frases para la tierra.
Fuente: Elaboración propia, 2015.