



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y  
Geográfica  
Unidad de Posgrado

**“Factores que determinan el origen de la  
contaminación de suelos por arsénico en la comunidad  
de Llacuabamba, Pataz, mediante procedimientos  
secuenciales y alternos”**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias  
Ambientales

**AUTOR**

Walter Javier DÍAZ CARTAGENA

**ASESOR**

Dr. Carlos Francisco CABRERA CARRANZA

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Díaz, W. (2020). *Factores que determinan el origen de la contaminación de suelos por arsénico en la comunidad de Llacuabamba, Pataz, mediante procedimientos secuenciales y alternos*. Tesis para optar grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

**CODIGO ORCID DEL AUTOR:** 0000-0003-1111-1825

**CODIGO ORCID DEL ASESOR:** 0000-0002-5821-5886

**DNI:** 25726173

### **GRUPO DE INVESTIGACIÓN:**

- 1.- Desarrollo Local y Geodiversidad.
- 2.- Geo Estudios Territoriales.

**INSTITUCIÓN QUE FINANCIA PARCIAL O TOTALMENTE LA INVESTIGACIÓN:** Financiamiento propio.

### **UBICACIÓN GEOGRÁFICA DONDE SE DESARROLLÓ LA INVESTIGACIÓN. DEBE INCLUIR LOCALIDADES Y COORDENADAS GEOGRÁFICAS**

Comunidad Campesina de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, Región La Libertad. Perú.

Las coordenadas de la zona son: 08°02'08" de latitud sur y 77°27'12" de longitud oeste.

### **AÑO O RANGO DE AÑOS QUE LA INVESTIGACIÓN ABARCÓ:**

2016 – 2019.



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los veintiocho días del mes de enero del 2020, siendo las 11:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 930/UPG-FIGMMG/2019 del 20 de diciembre del 2019, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

#### TITULO

«FACTORES QUE DETERMINAN EL ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR ARSÉNICO EN LA COMUNIDAD DE LLACUABAMBA, PATAZ, MEDIANTE PROCEDIMIENTOS SECUENCIALES Y ALTERNOS»

Que, presenta el Mg. **WALTER JAVIER DÍAZ CARTAGENA**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° 05387-FIGMMG-2015 del 04 de agosto del 2015, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento de los Estudios de Maestría y Doctorado».

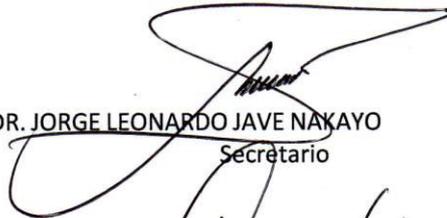
Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

..... MUY BUENO (18) .....

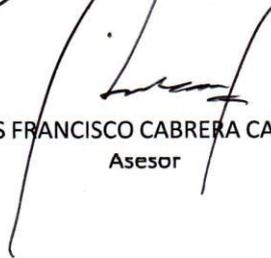
Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES** al Mg. **WALTER JAVIER DÍAZ CARTAGENA**

Siendo las 12:00 horas, se dio por concluido al acto académico

  
DR. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ  
Presidente

  
DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO  
Secretario

  
DR. JAIME CÉSAR MAYORGA ROJAS  
Miembro

  
DR. CARLOS FRANCISCO CABRERA CARRANZA  
Asesor

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a la Comunidad Campesina de Llacuabamba, que alberga gente amable, pujante y emprendedora, que persiste en el esfuerzo por lograr el desarrollo de su comunidad, y que siguen el legado del gran Geógrafo Italiano Antonio Raymondi, autor de la famosa frase El Perú es un Mendigo Sentado en un Banco de Oro..., refiriéndose a Llacuabamba que hoy es la primera comunidad minera formal en nuestro país.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a mi asesor, maestro y amigo sanmarquino Dr. Carlos Cabrera Carranza, por su tiempo, apoyo, consejo y paciencia para culminar el presente trabajo de investigación, al Sr. Hernán Saavedra Castañeda presidente de la Comunidad Campesina de Llacuabamba y también a Minera Aurífera Retamas S.A. MARSA por las facilidades otorgadas.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Descripción de la Situación Problemática.....	3
1.2. Planteamiento del Problema.....	8
1.3. Justificación .....	8
A.- Justificación Teórica: .....	8
B.- Justificación Práctica: .....	9
1.4. Objetivos de la Investigación.....	9
1.4.1. Objetivo General.....	9
1.4.2. Objetivos Específicos.....	10
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1. Marco Filosófico o Epistemológico de la Investigación.....	11
2.2. Antecedentes de la Investigación.....	13
2.2.1. La presencia de arsénico en el suelo: .....	13
2.2.2. Los procesos en el suelo: .....	14
2.2.3. La contaminación ambiental minera en el distrito de Parcoy: .....	16
2.2.4. La edafogénesis, metales y metaloides en el suelo: .....	19
2.3. Bases Teóricas .....	21
2.3.1. Marco Normativo del Suelo:.....	28
2.4. Características Geográficas.....	33
2.4.1. Clima:.....	34
2.4.1.2 Temperatura: .....	35
2.4.1.3. Precipitación: .....	37
2.4.1.4. Radicación Solar: .....	39
2.1.4.5. El Viento: .....	39
2.4.2. Geología:.....	41
2.4.2.1. Estratigrafía:.....	44
2.4.2.2. Litología:.....	46
2.4.2.3. Geoquímica: .....	46
2.4.3. Hidrología: .....	48
2.4.3.1. Hidrogeología: .....	60
2.4.4. Geomorfología: .....	63
2.4.5. Ecología: .....	68
2.4.5.1. Formación Vegetal:.....	72

2.4.5.2. Flora y Fauna: .....	74
2.4.6. Geografía Humana: .....	76
2.4.7. Geografía Económica:.....	78
2.4.7.1. Minería:.....	78
2.4.7.2. Agricultura: .....	80
2.4.7.3. Ganadería: .....	80
2.4.7.4. Recursos Forestales:.....	81
2.4.7.5. Construcción de Viviendas: .....	82
2.5. Marco Conceptual o Glosario .....	83
2.6. Identificación y Clasificación de las Variables .....	87
2.7. Operacionalización de Variables .....	87
2.8. Matriz de Consistencia.....	88
<b>CAPITULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>89</b>
3.1. Metodología de la Investigación .....	89
3.2. Tipo y Diseño de la Investigación.....	89
3.3. Diseño de la Investigación .....	89
3.4. Unidad de Análisis .....	90
3.5. Población de Estudio y Tamaño de la Muestra .....	91
3.6. Selección de la Muestra .....	92
3.7. Técnica e Instrumento de Recolección de Datos .....	93
3.7.1. Instrumentos:.....	94
3.8. Análisis e Interpretación de la Información .....	94
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>96</b>
4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de los Resultados. ....	96
4.1.1. Factores que originan la contaminación de suelos por Arsénico: .....	96
4.1.2. Edafogénesis del suelo. ....	97
4.1.3. Mineralización en el área de estudio. ....	98
4.1.4. Geomorfología y fisiografía en la formación de suelos. ....	100
4.1.5. Tiempo de la determinación de la génesis del suelo: .....	102
4.1.6. Factores hidrológicos y sedimentarios en la formación de suelos: .....	104
4.1.7. Acción Antrópica en la ocupación y modificación del territorio donde se asienta el pueblo:.....	105
4.1.8. Evolución de la Formación de Suelos del Centro Poblado de Llacuabamba: ....	108
4.2. Análisis de la Calidad del Suelo: .....	109
4.2.1. Tipo de Muestreo .....	111
4.2.2 Localización de los Puntos de Muestreo .....	111
4.2.3. Tipos de Muestras y Profundidad. ....	115
4.2.4. Recolección de las Muestras: .....	115

4.3. Presencia de Arsénico en el Suelo Analizado:.....	116
4.3.1. Influencia de los factores que condicionan en el contenido y distribución del arsénico en el suelo:.....	118
4.3.2. Distribución y comparación del arsénico en los suelos de las tres zonas del centro poblado de Llacuabamba. ....	126
4.3.3. Procedimientos Secuenciales y Alternos del Arsénico en el Suelo .....	129
4.4. Hipótesis .....	134
4.4.1. Hipótesis General.....	134
4.4.3. Pruebas de Hipótesis.....	135
<b>CAPITULO V. IMPACTOS .....</b>	<b>139</b>
5.1. Descontaminación y Remediación de Suelos Contaminados por Arsénico.....	139
5.2. Costo de la Remediación de Suelos:.....	145
5.3. Beneficios de la Remediación de Suelos: .....	146
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>147</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>149</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA .....</b>	<b>162</b>
<b>ANEXO 2. DISEÑO ESTADÍSTICO DEL ANÁLISIS DE CALIDAD DEL SUELO</b>	<b>164</b>
<b>ANEXO 3: MAPA CLIMATOLÓGICO.....</b>	<b>169</b>
<b>ANEXO 4: MAPA ECOLÓGICO.....</b>	<b>170</b>
<b>ANEXO 5: MAPA CAPACIDAD DE USO MAYOR .....</b>	<b>171</b>
<b>ANEXO 6: MAPA GEOMORFOLÓGICO .....</b>	<b>172</b>
<b>ANEXO 7: MAPA GEOLÓGICO.....</b>	<b>173</b>
<b>ANEXO 8: MAPA DE SUELO.....</b>	<b>174</b>
<b>ANEXO 9: MAPA HIDROLÓGICO .....</b>	<b>175</b>

## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 1. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo .....	32
Cuadro 2. Ubicación de las Estaciones Meteorológicas.....	34
Cuadro 3. Temperatura Mensual en la Estación Meteorológica Las Chilcas.....	35
Cuadro 4. Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica San Andrés .....	37
Cuadro 5. Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica Las Chilcas .....	38

Cuadro 6. Valor Medio Mensual de la Irradiación Solar Diaria Horizontal en KWh/m <sup>2</sup> Año 2016. ....	39
Cuadro 7. Características Geológicas.....	43
Cuadro 8. Formaciones Estratigráficas.....	45
Cuadro 9. Unidades Geológicas de la Zona de Llacuabamba .....	46
Cuadro 10. Resultados de pruebas SPLP en compósito de materiales de nuevo depósito de desmontes.....	48
Cuadro 11. Principales Características de los Cuerpos de Agua Superficial Inventariados. ....	57
Cuadro 12. Unidades Hidroestratigráficas .....	63
Cuadro 13. Relación Entre el Grado de Pendiente y el Tipo Geomorfológico .....	65
Cuadro 14. Características del Relieve de la Comunidad de Llacuabamba.....	66
Cuadro 15. Unidades Geomorfológicas del Área de Estudio.....	67
Cuadro 16. Unidades Fisiográficas .....	68
Cuadro 17. Características de las Zonas de Vida. ....	71
Cuadro 18. Principales actividades laborales de la población.....	79
Cuadro 19. Operacionalización de Variables .....	88
Cuadro 20. Estándar de Calidad de Suelo para el Parámetro de Arsénico.....	110
Cuadro 21. Puntos de Monitoreo de Suelos .....	113
Cuadro 22. Resultados del Muestreo de Suelo de la Zona Rural .....	116
Cuadro 23. Resultados del Muestreo de Suelo de la Zona Industrial.....	117
Cuadro 24. Resultados del Muestreo de Suelo de la Zona Urbana. ....	117
Cuadro 25. Resultados de Arsénico y pH – Zona Rural.....	120
Cuadro 26. Resultados de Arsénico y pH – Zona Industrial .....	124
Cuadro 27. Resultados de Arsénico y pH – Zona Urbana.....	126
Cuadro 28. Concentración de Promedio Arsénico (en mg/kg) y la Desviación Estándar en las diferentes estaciones de monitoreo del Centro Poblado Llacuabamba.....	132
Cuadro 29. Estadístico de Prueba.....	135
Cuadro 30. Estadístico de Prueba.....	137
Cuadro 31. Estadístico de Prueba.....	138
Cuadro 32. Valorización Económica de la Remediación de Suelos .....	145

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación. Fuente: Propia .....	4
Figura 2. Temperatura Mensual (Máxima, Mínima, Promedio) registrada en la Estación Las Chilcas. Fuente: Estación Meteorológica de Las Chilcas de MARSА. 2017. ....	36

Figura 3. Precipitación Mensual (promedio y media máxima) registrada en la Estación San Andrés. Fuente. Estación Meteorológica de Las Chilcas. MARSA, 2017.....	38
Figura 4. Precipitación Mensual (Máxima, Mínima, Promedio) registrada en la Estación Las Chilcas. Fuente. Estación Meteorológica de Las Chilcas MARSA, 2017. ....	38
Figura 6. Rosa de Vientos anual - Estación meteorológica Las Chilcas. Fuente. Estación Meteorológica de La Chilcas. MARSA. 2017. ....	40
Figura 7. Distribución de Frecuencia de Clases de Vientos– E. Las Chilcas. Fuente. Estación Meteorológica de La Chilcas. MARSA. 2017. ....	41
Figura 8. Grafica del Río Llacuabamba. Fuente. Estudio Hidrogeológico Integral de la U.E.A. Retamas. Año 2015.....	52
Figura 9. Balance Hídrico de la Fuente de Agua La Castilla. Fuente. Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016.....	53
Figura 10. Balance Hídrico de la Fuente de Agua La Paccha. Fuente. Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016.....	54
Figura 11. Balance Hídrico de la Fuente de Agua Tres Laguna. Fuente: Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016.....	54
Figura 12. Balance Hídrico de la Fuente Ventanas. Fuente. Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016.....	55
Figura 13. Balance Hídrico de la Fuente Coriguarme. Fuente. Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016.....	55
Figura 14. Gráfico Comparativo oferta Vs Demanda. Fuente. Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016.....	56
Figura 15. Población de Llacuabamba por edad. Fuente. Cigren Perú SAC. 2016. ....	76
Figura 16. Población de Llacuabamba según género. Fuente. Cigren Perú S.A.C. 2016. ....	77
Figura 18. Fuente. Basado en M. Bonneau y B. Souchier. 1987 .....	109
Figura 19. Mapa de ubicación de puntos de monitoreo. Fuente. Propia.....	114
Figura 20. Arsénico y Ph, Zona rural. Fuente. Propia.....	121
Figura 21. Arsénico y Ph, Zona Industrial. Fuente. Elaboración propia.....	124
Figura 22. Arsénico y pH. Fuente. Propia.....	126
Figura 23. Distribución de la cantidad de Arsénico, según la Zona del Centro Poblado Llacuabamba. Fuente. Propia.....	127
Figura 24. Comparativo de la Cantidad de Arsénico en suelo y los ECA establecidos para cada Zona del centro Poblado de Llacuabamba. Fuente. Propia.....	128
Figura 25. Comparativo del pH y la cantidad de Arsénico en suelos, según zona del centro poblado Llacuabamba. Fuente. Propia.....	133
Figura 26. Modelo conceptual de la concentración de arsénico en el suelo. Fuente. Basado en CETESB, 2011 y MINAM, 2014.....	141

## RESUMEN

La presente tesis describe, analiza y evalúa el origen del arsénico en los suelos del centro poblado de la comunidad campesina de Llacuabamba, que tiene una trayectoria histórica minera, donde se ha desarrollado la actividad minera desde tiempo memoriales, dejando una serie de pasivos ambientales, que han afectado la calidad del suelo.

Mediante el análisis de los procesos secuenciales y alternos se determinan los factores que han sido el origen de la contaminación de suelos por arsénico, que al encontrarse el metaloide en el suelo se convierte en un depósito del contaminante y su posterior integración a otros componentes ambientales como el agua y aire, representando un alto riesgo para la salud de la población por estar en contacto permanente con el arsénico.

Las características y propiedades edáficas del suelo han sido relevantes para favorecer la presencia de arsénico en los diferentes niveles el suelo, su acumulación, dispersión y precipitación en las tres zonas identificadas de la zona de estudio, se analiza el origen, su cantidad y las reacciones de la propiedad del suelo, especialmente su relación con el pH, determinando su origen antrópico o natural proviniendo de la roca madre en la que se originó el suelo por erosión, meteorización o lixiviación de las áreas mineralizadas con contenido de arsénico.

La secuencia del procedimiento secuencial del origen del arsénico en los suelos de la zona de estudio, se ha tomado en cuenta las condiciones que favorecen la movilidad del arsénico en el suelo, como son: Potencial de hidrogeno, temperatura, textura, compactación, humedad y cantidad de arsénico, y las características alternas, la determinación de la calidad de suelos, y la alternativa de remediación de suelos contaminados por arsénico del centro poblado.

Palabras claves: **Contaminación de suelo, procedimiento secuencial, arsénico.**

## **SUMMARY**

The present thesis describes, analyzes, and evaluates arsenic's origins into the soil of Llacuabamba town, which has a mining path where mining has been developed from memorial times, leaving a series of environmental liabilities, which has affected the quality of the soil.

By the analysis of sequential processes and alternatives were determined the factors that were the origin of the contamination of soils by arsenic, founding the metalloid in the soil it becomes a deposit of the contaminant and their post-integration to other environmental components like water, and air. Representing a high risk for the town's health for having constant contact with the arsenic.

The edaphic features and properties of the soil were relevant for favoring the presence of arsenic in different levels of the soil, their accumulation, dispersion, and precipitation in the three identified studied zones, is analyzed the origin with the pH determining their anthropic or natural origin coming from the bedrock where the soil has been originated by erosion, weathering or leaching of the mined areas with arsenic content.

The sequence of the sequential procedure of the arsenic origin has taken into consideration conditions that favored the arsenic mobility in the soil like Hydrogen potential, temperature, texture, compaction, humidity, and amount of arsenic. And the alternative features, the quality of the soils and the arsenic-contaminated ground remediation of the town.

**Keywords: Soil contamination, sequential procedure, arsenic.**

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la Situación Problemática**

La ubicación del área de estudio es el Centro Poblado de Llacuabamba, ubicado en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, región La Libertad, en la vertiente del Marañón (en el extremo nor-oriental de la Cordillera de los Andes), a una altitud de 3,100 msnm. La comunidad campesina de Llacuabamba, tiene sus límites por el norte con el distrito de Pías, al este con la región San Martín y al oeste con Parcoy, contando con una categoría de ámbito geográfico de poblado rural, aunque en la actualidad presenta el 80% de urbanidad y 20% de ruralidad (Cigren Perú, 2016).

La accesibilidad al centro poblado de Llacuabamba es por dos vías, la principal es terrestre, que se realiza de Lima a Trujillo por carretera asfaltada de 580 km, para luego tomar la ruta Trujillo -Llacuabamba, siendo en el primer tramo asfaltada hasta la ciudad de Humachuco y luego es afirmada en todo el trayecto hasta que se arriba a la comunidad, esta ruta tiene una extensión de 392 km, siendo un largo tiempo de viaje por las condiciones de la carretera, el trayecto se hace más largo en las épocas de lluvias, porque se producen deslizamientos o huaycos que bloquean la carretera. El acceso por vía aérea es por tres posibles rutas, la primera de Lima a Trujillo con un tiempo de 50 minutos de vuelo, para continuar de Trujillo a Chagual ó Pías con un tiempo de 40 minutos aproximados de vuelo, la segunda vía aérea es Lima - Aeródromo de Chagual con un tiempo de vuelo de 1 hora 25 minutos, para luego continuar por vía terrestre por la carretera afirmada 130 kilómetros, con un tiempo aproximado de 4 horas, y la tercera ruta es de Lima - Aeródromo de Pías con un tiempo de vuelo de 1 hora y 30 minutos, para luego continuar por carretera afirmada 2 horas aproximadamente.



Una de las características más importantes de la comunidad campesina de Llacuabamba, es la actividad minera que se remonta desde tiempos prehispánicos, según refiere el historiador y geógrafo Antonio Raimondi en su obra “El Perú”, dice lo siguiente: “Llacuabamba, pueblo indígena que se dedica a la producción de Oro”. No existen datos de la fundación del centro poblado, solo el reconocimiento oficial como comunidad desde el año 1964, aunque el nombre de la comunidad proviene de dos palabras quechuas Yacua y Bamba que significa agua y pampa. La zona fue poblada en la época de la colonia española, donde los colonos llegaron en busca de oro y plata en toda la provincia de Pataz. (Cigren Perú, 2016).

En todo el territorio de la comunidad se ha encontrado una serie de evidencia de actividades mineras de diferente épocas, pasando diferentes momentos históricos de explotación de oro y plata y que han causado una serie de impactos ambientales, que se pueden apreciar en diferentes zonas del territorio comunal, en la actualidad existe la minería formal que está representada por la minera MARSA, la minería artesanal, dirigida por el comité de mineros artesanales de Llacuabamba, que explota concesiones cedidas a la comunidad en marco de convenio suscrito con la empresa MARSA.

Los impactos ambientales que la explotación minera causa debido a las inadecuadas medidas de protección ambiental, ocasiona alteración de la calidad de los cuerpos receptores como son el agua y suelo, siendo que en este último los contaminantes permanecen mucho tiempo y se acumulan, precipitan, reducen u oxidan dependiendo de las características naturales del suelo.

Según F. Lelong y B Soucher (1987), la variedad de la presencia de metales pesados se expresa primero por el tipo de los suelos, así, en ciertas edafogénesis los minerales primarios desaparecen en su totalidad y son sustituidos casi exclusivamente por un pequeño número de minerales de origen secundario. Con ello se explica que en los suelos se encuentran minerales debido a su génesis y al tipo de roca que ha dado origen al suelo; así es en una zona mineralizada con depósitos de yacimientos minerales, el suelo tendrá un alto contenido de minerales tanto primarios y secundarios en sus diferentes perfiles.

Naturalmente se encuentran en los suelos minerales pero su origen no es solamente natural; el hombre, a través de la extracción, explotación y beneficio de minerales, ha sido en gran parte, responsable que en el suelo se encuentra diferentes metales pesados que causan una serie de efectos negativos a las plantas, animales y a la salud humana.

Por lo tanto, uno de los principales cuestionamientos que se ha venido haciendo a la actividad minera está relacionado a la alteración y degradación ambiental que ésta ha provocado, por la liberación de minerales encontrados en los yacimientos que se explotan en estado de sulfuros o óxidos. El desarrollo de la minería, en todos los casos que reporta la bibliografía revisada, ha sido percibido como una actividad que ha tenido un impacto considerable en el ambiente y ser causante de conflictos socio-ambientales en nuestro país.

Una de las zonas impactadas por la minería en el Perú es la cuenca del río Llacuabamba y Parcoy, donde operan las empresas Consorcio Minero Horizonte, Minera Aurífera Retamas S.A., y Minera Real Aventura; también existe la minería artesanal formal, informal e ilegal en todo el distrito de Parcoy y la provincia de Pataz. Ante esta situación en el año 1997 el Ministerio de Energía y Minas, realizó un Estudio de Evaluación Ambiental y Territorial y de Planteamientos para Reducción o Eliminación de la Contaminación de Origen Minero en la Cuenca del Río Parcoy y Llacuabamba, el mismo que solo fue una evaluación muy preliminar y que debió continuar con una segunda etapa de desarrollo de remediación ambiental o recuperación de ecosistemas degradados, que hasta la fecha no ha sido realizada.

El estudio de evaluación ambiental de Ministerio de Energía y Minas (1997) es el único estudio realizado por el Estado en la cuenca de los ríos Llacuabamba y Parcoy, estando pendiente efectuar un estudio a nivel de factibilidad e ingeniería de detalle para proceder al cierre de los pasivos ambientales con la seguridad física, química y biológica y que no sea un riesgo para la salud de la población y para el ambiente.

En la cuenca del río Parcoy no solo se encuentran las empresas mineras antes mencionadas, si no también varias minas inoperativas sin planes de cierre y que en la actualidad son considerados como pasivos ambientales, no habiéndose identificado a

sus responsables, las cuales se encuentran principalmente ubicada en la parte alta de la cuenca. Estos pasivos son una fuente de contaminación permanente para el agua y suelo, y que todavía no han sido caracterizados, ni evaluados para realizar la remediación ambiental.

Ante esta situación, la población que vive en el distrito de Parcoy sufre la exposición de metales pesados que son la causa de la degradación del suelo, de la vegetación, ríos, animales y daño directo a la salud humana. La peligrosidad de estos metales es mayor al no ser química y biológicamente degradables y una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años como un depósito de contaminación química.

Los metales pesados poseen propiedades para su dispersión en el ambiente, en diferentes niveles de la cadena trófica, porque ejemplo se acumulan en el suelo, sedimento de los ríos, lagos o lagunas, y posteriormente pasan a los seres vivos, causando efectos de toxicidad de acuerdo con el tipo de exposición y la sensibilidad de los organismos receptores.

El estudio de suelos contaminados y la evaluación de riesgo para el ambiente contempla como principal atención los efectos para la salud humana, tener un suelo contaminado por arsénico, cadmio, plomo entre otros metales significa que la población está expuesta al estar en contacto con contaminantes permanentes que están en suelo y a partir de este medio se distribuye en el aire y agua afectando a los ecosistemas, flora y fauna y a la salud del hombre.

Cabe reconocer que hasta actualidad los estudios ambientales no han sido desarrollados de manera integral, lo que motivó la necesidad de efectuar el presente estudio en el Centro Poblado de Llacuabamba para conocer y analizar la presencia de arsénico en el suelo y buscar las alternativas para la solución a los problemas ambientales originados por la actividad minero-metalúrgica formal e informal. Esto será posible si se logra la participación de los diferentes actores de la sociedad para implementar actividades económicas alternativas que tengan relación con la gestión y manejo del entorno medioambiental, social y económico en un enfoque de desarrollo sostenible.

De lo expuesto, existe la necesidad de saber y conocer el origen de los contaminantes presentes en el suelo, analizando el procedimiento secuencial y alterno, que fundamenta la secuencia del desplazamiento de los contaminantes en el suelo y determinar el origen de los metales pesados en el suelo, lo que motivo la necesidad de la presente tesis de investigación, para determinar el origen de la presencia de arsénico en el suelo del centro poblado de la Comunidad Campesina de Llacuabamba.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

Del análisis de la realidad problemática se tiene como principal problema el siguiente:

**¿Cuáles son los factores que determinan la identificación del origen de la contaminación del suelo por Arsénico en el Centro Poblado de Llacuabamba?**

### **Problemas Específicos:**

P 1 : ¿Cuáles son los factores relacionados con la roca madre que determina la presencia de arsénico en los suelos del centro poblado de Llacuabamba?

P 2 : ¿Cuáles son los procesos de la actividad minera que determinan la presencia del arsénico en el suelo del centro poblado de Llacuabamba?

## **1.3. Justificación**

### **A.- Justificación Teórica:**

La comunidad campesina de Llacuabamba tiene una trayectoria histórica minera en donde se ha desarrollado minera formal e informal por muchos años y se han producido una serie de impactos ambientales negativos que sucedieron antes de la actual legislación ambiental vigente para el sector minero, en la cual todos los pasivos ambientales han venido degradando la calidad del agua, suelo y aire, por lo que es importante fundamental determinar si el origen del arsénico presente en el suelo, proviene de la roca madre, o es resultado de la actividad minera extractiva.

Mediante la realización de la presente investigación se analizó el procedimiento secuencial o alterno que permita demostrar el origen de la presencia del arsénico en el suelo, además de conocer la caracterización, su movilización en los diferentes perfiles del suelo del centro poblado de Llacuabamba y que afectaría la salud de los pobladores.

### **B.- Justificación Práctica:**

La peligrosidad del arsénico en el suelo es que se convierte en un depósito del contaminante y su posterior integración a los procesos geoquímicos causando alteraciones a los ecosistemas y afectos a la salud de los pobladores. El arsénico es un constituyente que se incorpora fácilmente al suelo donde se acumula en partículas finas e ingresa al organismo a través de las vías respiratorias o cutáneas en forma de material particulado. La preocupación de la presencia arsénico en el suelo radica en que es absorbido por los cultivos principalmente los tubérculos y las raíces comestibles, tales como rábanos, camote y zanahorias, por su capacidad de bioacumulación de los tubérculos reteniendo unos más que otras cantidades de arsénico y que ingresan a la cadena trófica, por ello es importante analizar la calidad del suelo en relación con la presencia arsénico como elemento químico contaminante.

Por lo expuesto, este Proyecto de Tesis Doctoral se justifica y se encuentra en los lineamientos establecidos por el Reglamento de Tesis de la UNMSM.

## **1.4. Objetivos de la Investigación**

La tesis de investigación tiene los siguientes objetivos:

### **1.4.1. Objetivo General**

“Definir y evaluar el origen de la presencia de arsénico en el suelo del Centro Poblado de Llacuabamba, distrito de Parcoy, Provincia de Pataz, Región La Libertad”.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la presencia y disponibilidad del arsénico en el suelo del centro poblado de Llacuabamba.
- Identificar si el origen de la presencia de arsénico en el suelo del centro poblado de Llacuabamba es debido a la actividad minera o es de origen natural.
- Determinar los procedimientos alternos y secuenciales para la validación del origen de la contaminación del suelo por arsénico en el centro poblado de Llacuabamba.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Marco Filosófico o Epistemológico de la Investigación**

El marco filosófico está basado en la epistemología que es la ciencia que se ocupa de los métodos de hacer ciencia, y de la forma de validar el conocimiento científico, por lo que el objeto de estudio debe estar claramente definido, para optar por las distintas doctrinas del pensamiento científico y más cuando nos encontramos con la complejidad del estudio de un componente ambiental, que está relacionado en un sistema que se integra, por lo que es necesario precisar el objeto de estudio y los aspectos metodológicos, con la finalidad de aportar al esclarecimiento de la problemática planteada en la investigación.

El ambiente cada vez cobra mayor importancia por los diferentes servicios ambientales que nos provee y que tienen un valor para el desarrollo de la vida, pero de ello depende no solo su existencia si no de calidad de los componentes necesarios para mantener ecosistemas que soporten una calidad de agua, aire y suelo que permitan el desarrollo de la biodiversidad de flora y fauna, y la salud del hombre, logrando el desarrollo de sus actividades productivas sin amenazar el equilibrio que busca el desarrollo sostenible.

A nivel académico, técnico y científico se ha comenzado a discutir sobre la importancia del desarrollo de la ciencia ambiental, y el desarrollo de la tecnología de la sostenibilidad para dar solución a una serie de problemas ocasionados por las actividades productivas, el crecimiento poblacional, y el cambio climático que es otro de los innegables ejemplos de la afectación de la naturaleza por las actividades humanas y que ocasionara una serie de efectos a nivel global sobre toda la tierra afectando la vida del hombre y de las otras especies del planeta.

La importancia del conocimiento implica buscar soluciones viables y sostenibles para los diferentes problemas que se generan por el desarrollo productivo, y estilos de vida de las diferentes sociedades que causan impactos ambientales negativos a los ecosistemas perdiendo sus principales características y ciclos evolutivos. A esto se suma el crecimiento demográfico acelerado de los últimos diez años, que demanda mayor consumo de energía, materia prima; y la generación de residuos que altera la calidad del aire, agua y suelo, y que su acumulación supera la capacidad de carga del suelo.

La explotación de los recursos naturales principalmente la extracción de minerales ha generado en nuestro país una serie de impactos ambientales de los cuales muchos de ellos no han sido solucionados y se han convertido en impactos ambientales negativos que han causado la alteración de los diferentes componentes ambientales del territorio nacional.

Existen una serie de esfuerzos para dar solución a los espacios degradados por la explotación minera pasada, buscando alternativas de solución viables y el desarrollo de la investigación científica que nos permita recuperar extensas áreas afectadas del suelo ocasionado por inadecuadas prácticas realizadas en la actividad minera.

La necesidad de mejorar el conocimiento como parte de una actividad minero-metalúrgica en un país minero como el nuestro debe contar con una serie de alternativas para mitigar los efectos negativos al entorno y a la problemática de los pasivos ambientales o áreas afectadas por operaciones mineras, donde el recurso suelo que es un recurso semirenovable se puede convertir en un depósito de contaminante de metales pesados y su dispersión o reacción en el suelo puede distribuirse formando otros compuestos con los componentes ambientales.

De lo expuesto, existe la necesidad científica de desarrollar diferentes trabajos de análisis de investigación con el objetivo de resolver los efectos negativos de la actividad minera en el entorno natural, bajo un enfoque del desarrollo sostenible.

## 2.2. Antecedentes de la Investigación

### 2.2.1. La presencia de arsénico en el suelo:

a) **Moreno Jiménez, Eduardo (2010)** Recuperación de suelos mineros contaminados con arsénico, mediante fitotecnologías Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid. España. Emplea el método descriptivo y experimental para analizar el comportamiento y biodisponibilidad del arsénico en suelos contaminados con pH bajos, y como existen arbustos que se desarrollan a pesar que en el suelo existe altas concentraciones del metaloide, y que pueden ser utilizados en los trabajos de revegetación de suelos contaminados, describe los efectos de la mineralización en el suelo y su relación en las raíces con su capacidad de absorber elementos trazas provenientes de la arsenopirita ubicada donde se ha explotado la mina Bustarviejo, Madrid, comparando dosis - respuesta de cada elemento analizado. Las conclusiones importantes son:

Porque demuestra que la movilidad del arsénico es baja en suelos con orígenes de la de arsenopirita, por lo que su absorción por las raíces es baja, siendo regulada por la naturaleza ácida del suelo.

Establece metodologías para calcular la cantidad de fitodisponibilidad en los suelos contaminados con arsénico.

b) **Diez Lázaro, Francisco Javier (2008)**. Estudia los suelos contaminados por operaciones mineras e identifica las plantas que se adaptan y resisten suelos contaminados, comparando la movilidad de los metales y la capacidad de absorber metales pesados de ciertas plantas como plomo, cadmio o arsénico. El trabajo de investigación se centra en proponer la técnica de fitocorrección para extraer los metales pesados de un suelo contaminado con la utilización de plantas y absorber metales, analizando los suelos y su causa de la alta mineralización que en algunos casos su origen es la composición química de la roca original, y en otros debido a la explotación de yacimientos metálicos que han ocasionado zonas mineras contaminadas, plantea una relación de plantas tolerantes a metales pesados y cómo evoluciona su ciclo de desarrollo en terrenos sobrecargados con metales pesados.

### 2.2.2. Los procesos en el suelo:

a) **Cirre Gómez, Ana María (2003)**. En su Tesis para optar el grado académico de Doctor en Farmacia, en la Universidad de Granada. El trabajo de investigación analiza la calidad de agua y suelo, detectando los cambios en la hidroquímica del agua a través de los sedimentos de las rocas calizas jurásicas y su incidencia sobre los contenidos del suelo, además realiza una caracterización de los suelos desarrollados sobre los distintos materiales, mostrando en la descripción edafológica de los perfiles que componen el suelo, también analiza la evolución edáfica del suelo en el pliocuaternario. Las conclusiones más resaltantes de la tesis son:

La zona de estudio destaca los suelos de origen de ferruginación, ilemirización y gipsificación, que considera que han influenciado en la distribución del elemento contaminante en los niveles del suelo.

Finalmente, la investigación concluye en que llega a confirmar los componentes mineralógicos que se encuentran en el suelo del área de estudio, provienen por el transporte de los elementos a través del agua y que se han depositados en los diferentes perfiles del suelo.

b) **Peris Mendoza, Mónica (2006)**. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Tesis para optar el grado de Doctor en Biología en la Universidad de Valencia. El estudio analiza los elementos naturales en el suelo y que influyen en el desplazamiento de los metales del suelo, como el accionar del pH, influencia de la conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica en los perfiles del suelo, y su relación con el intercambio catiónico y la caracterización de los suelos, para determinar la acumulación, dispersión e precipitación de los metales pesados.

Además, determina la concentración de metales pesados como cadmio, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc, mediante un análisis por vía humedad en los suelos

hortícola, en los diferentes perfiles del suelo, y usa una metodología descrita para definir la distribución de los metales de forma vertical.

La principal conclusión del estudio se tiene que las parcelas con elevadas concentraciones de metales pesados, tienen su origen por el uso de productos agroquímicos y que los suelos contaminados con plomo son debido a industrias cercanas, que producen azulejos y que utilizan en sus procesos de fabricación pinturas con plomo y zinc y que se incorporan al suelo.

Tal como lo señala Soil Survey (1999) en su definición del suelo, el medio edáfico sucede una serie de procesos y reacciones físicos, químicas y biológicas, que van desde secuencias simples a muy complejas que suceden en los diferentes perfiles que constituyen el suelo y determinar el comportamiento y distribución de diferentes elementos o componentes del suelos, entre estos constituyentes del suelo, encontramos a los minerales orgánicos e inorgánicos, que se pueden clasificar por su estructura como cristalinos, criptocristalinos o amorfos, o también llamados como minerales primarios o secundarios resultado de las alteraciones o reacciones a diferentes agentes químicos o físicos.

En los antecedentes de las tesis revisadas se llega a la conclusión que el suelo presenta una estructura secuencial debido fundamentalmente a la infiltración del agua y la actividad orgánica en sus diferentes niveles, variando donde existe mayor concentración de materia orgánica en sus diferentes capas o horizontes variando en porcentaje según la profundidad, donde se producen una serie de reacciones físicas y químicas con propiedades propias que han sido determinadas en función de agentes externos e internos en la formación y evolución del suelo.

Los horizontes del suelo presentan diferente nivel de desarrollo iniciándose desde la roca madre para luego de forma adecente hasta la superficie una forma particular y evolutiva mezclándose y reaccionando con diferentes elementos, recibiendo diferentes aportes, es importante analizar un mecanismo para caracterizar los procesos evolutivos. Caracterizar los procesos evolutivos no es suficiente el conocimiento de las variaciones relativas.

Es necesario poner de relieve las pérdidas y ganancias de material de abajo arriba en los perfiles, en cada etapa evolutiva. Los balances de alteración, establecidos en una columna de suelo a partir de una cuantificación mineral rigurosa, consistente en referir las cantidades de materia respecto a un valor de referencia que se estima estable durante la edafogénesis (Lelong y Souchier, 1978)

Tal como lo señala Lelong y Souchier (1978) la importancia de realizar una determinación de la evolución del suelo desde el porcentaje de variación de mineral presente en el suelo en sus diferentes capas, conociendo el nivel de fondo de origen de los metales que se deben encontrar en el suelo con relación a la roca madre, no olvidemos que los suelos son resultados de diferentes procesos físicos y químicos sobre el material rocoso, por acción de los elementos del clima y acción de los organismos biológicos.

### **2.2.3. La contaminación ambiental minera en el distrito de Parcoy:**

**a) Dirección General de Asuntos Ambientales. Ministerio de Energía y Minas (1997).** Estudio de Evaluación ambiental y territorial y de planteamientos para reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Parcoy – Llacuabamba. A nivel de estudio anteriores fue el que realizó el estado por la preocupación de la contaminación ambiental de la zona denunciada por los pobladores locales, y tuvo como propósito la evaluación de la contaminación, originada por la actividad minera histórica y presente, además el estudio era el primer paso para establecer un programa de adecuación ambiental y otro de restauración de pasivo ambiental histórico, todo a nivel conceptual que posteriormente quedó pendiente la realización otro estudio a nivel de factibilidad que hasta la fecha no se ha realizado.

En lo que se refiere a la cuenca del río Llacuabamba que es donde se asienta el centro poblado del mismo nombre, según la carta geológica presenta estructuras geológicas con alteraciones mineralizadas localizadas. Además, el relieve es accidentado con quebradas, valles profundos y encañonados, laderas con fuertes pendientes que alcanzan un desnivel de 20° hasta 60° de pendiente abruptas y pronunciadas. Formando parte del llamado Batolito de Pataz una formación geológica

que presenta diferentes zonas fracturadas, con debilitamiento y que han servido para las migraciones de soluciones mineralizadas, dando origen a la formación de diferentes vetas.

Geológicamente es una zona rica desde el punto de vista auríferos, debido a que tiene constituyentes de una asociación típica mesotermal de cuarzo y pirita y oro, la mineralización se debe al relleno hidrotermal muy cerca del batolito de Pataz, existiendo minerales como la pirita, arsenopirita, galena, el oro en estado en dos diferentes estados libre y en otras zonas en estado nativo, ubicando en vetas asociado al cuarzo y sulfuros. (MEM. DGAA, 1997).

La cuenca del río Parcoy – Llacuabamba continuando con la revisión de la evaluación ambiental realizada por MEM, sostiene que los cuerpos mineralizados auríferos, se presentan diseminados, de varios tamaños a niveles muy finos y ligados a la arsenopirita y sulfuros.

Referente al proceso de extracción de las empresas mineras formales y los pasivos ambientales causados han sido debido a los practicas mineras sin medidas o planes ambientales ejecutados que han dejado acumulación de desmontes, cambios en el nivel freático, producción de drenaje ácido de mina, suelos impactados, y la liberación de iones metálicos que han afectado el entorno ecológico del río Llacuabamba y Parcoy.

Entre las conclusiones principales sobre la mineralogía dice de los principales yacimientos de la zona es desfavorable, por presentar importantes porcentajes de pirita y arsenopirita que es donde se encuentra distribuido mayormente el oro. Así mismo, hay presencia de otros sulfuros metales bases tales como esfalerita, galena, etc. Sobre el proceso del beneficio del mineral, se ha originado relaves de textura fina, colocados bajo el sistema de gravedad, controlando la pendiente y el drenaje, que por el pasar del tiempo y las condiciones climatológicas, recomienda un estudio geotécnico para conocer la estabilidad de los depósitos de relaves. En los resultados de los ensayos de laboratorio indicaron la textura y la caracterización del suelo, además de existir evidencia de contaminación de suelos y agua por las operaciones mineras históricas,

por hechos sucedidos antes del marco legal minero ambiental que rige actualmente las empresas mineras en el Perú.

**b) Auditec SAC (2011).** Informe de diagnóstico del plan de mitigación y mejoramiento de la calidad de agua sobre la cuenca de Parcoy y Laguna Pías.

El informe realiza una evaluación en la época húmeda de la cuenca del río Parcoy y Laguna Pías, y que tuvo como objetivo determinar el estado de conservación de los ecosistemas de ambos territorios, establecer la relación con los impactos identificados por las acciones antrópicas, incluida la actividad minera, las principales conclusiones del estudio son las siguientes:

En la mayoría de las estaciones de muestreo se aprecian altos valores de metales, esto obedece a dos factores principales, el primero de los cuales es la actividad minera informal, que al realizarse sin ningún tipo de control y bajo ninguna normativa legal maneja la disposición de sus residuos líquidos y sólidos (desmontes, material de lavado, etc.) de forma inadecuada ya sea arrojándolos al río directamente, colocándolos en borde de ladera de río o simplemente cubriéndolos con una capa de tierra. De esta manera y durante la temporada de lluvias, este material es erosionado e ingresa al cuerpo receptor. El otro factor que ocasiona la presencia de metales es la característica geológica de la zona de estudio, la cuenca del río Parcoy al ser un área rica en minerales presenta naturalmente valores elevados de concentraciones (MEM, 2009), lo que puede apreciarse en los reportes respectivos.

El área de estudio donde se ubican empresas mineras de carácter formal, que reportan los datos de sus efluentes de forma mensual, trimestral y anual; estas empresas son vigiladas por la entidad ambiental correspondiente (Ministerio de Energía y Minas; DIGESA, ANA, MINAM) y son sujetas a Supervisiones Especiales y Fiscalizaciones por la OEFA, organismo de gestión ambiental que es el ente supervisor con referencia a las actividades mineras. Los valores de metales en la cuenca del río Parcoy y la laguna de Pías, abarcan toda la amplitud de la cuenca y no se ven influenciados por algún tipo de actividad específica, es decir no se localizan en un solo punto o a lo largo de una zona área de actividad humana, durante el presente estudio se evaluaron puntos de muestreo que están localizados en la parte alta y que presentan valores altos de

concentraciones de metales, por lo que nuestra teoría de impacto por parte de la actividad informal y la degradación geológica normal cobra mayor efecto.

Finalmente, el informe recomienda la realización de un estudio específico, con el fin de establecer los puntos críticos o focos críticos de actividad minera informal, así como las zonas de mayor disposición de sus pasivos (desmontes), de esta forma se podría catalogar los distintos procesos de trabajo de la minería informal y determinar el impacto ambiental que sufre la cuenca por parte de este tipo de actividad.

#### **2.2.4. La edafogénesis, metales y metaloides en el suelo:**

Existen factores importantes a tomar en cuenta en un estudio de suelos con elementos químicos presentes son: la composición química de la roca madre porque va ser el origen de los iones metálicos y las condiciones de meteorización a lo largo del tiempo que existan (Tiller, 1989 y Ross 1994). Que se distribuyen en los diferentes perfiles del suelo, la relación de la roca madre y los elementos metálicos que la constituyen va a determinar la presencia de metales en el suelo, para el caso del arsénico los mayores depósitos distribuidos en el mundo, están en depósitos de pirita, yacimientos de galena, calcopirita, y esfalerita; la arsenopirita ha sido siempre una fuente de explotación de arsénico a lo largo de la historia extractiva. (Smedley y Kininburgh, 2002)

Como el caso de la roca madre, se trata de un medio de edafogénesis y de alteración. Los minerales filitosos representan la parte esencial de la masa de suelo, y están distribuidos en el conjunto de las fracciones arcillosas, limos finos y gruesos. Las pruebas mineralógicas y geoquímicas muestran que, en este medio de edafogénesis, la diferenciación vertical de los perfiles resulta de unos procesos de disolución congruente y sobre todo de empobrecimiento (Nguyen y Paquet, 1976).

El contenido de materia orgánica que activa la parte biológica del suelo por los micro organismos, genera un alta acumulación y retención de metales, que se sucede en el nivel "O" o perfil "A" del suelo, siendo en estas zonas donde las raíces de las plantas encuentran iones metálicos que pueden ser fácilmente absorbidos.

Importancia de describir los procedimientos alternos y secuenciales que suceden en el suelo que están regulados y determinados por los procedimientos físicos – químicos de separación, donde también se tiene a la granulometría, la densimetría y las disoluciones diferenciales. Conociendo todos estos parámetros nos pueden llevar a restablecer los constituyentes originarios de composición de la formación del suelo, que puede ser reforzada por un análisis petroquímico de la roca madre para que tenga una validez de los constituyentes minerales encontrados en los diferentes horizontes del suelo.

Otra causa de la presencia de metales en el suelo es por las actividades antrópicas como la agricultura, industria y minería esta última que se inicia con la etapa de prospección y exploración, para luego pasar a la etapa de explotación y beneficio de minerales, genera una serie de residuos y elementos que contaminan el medio ambiente como la disposición de relaves y desmontes, que modifican el relieve, la geomorfología y que son la causa de impactos ambientales en los ecosistemas.

Una vez que los metales se depositan o están presente en el suelo, los procesos químicos, que tienen lugar en el suelo, controlan el movimiento de los metales dentro del suelo y su adsorción por las plantas (Tiller, 1989), por ese motivo se puede analizar la procedencia del arsénico, que está determinada por los procesos químicos de las características propias del suelo.

Si se analiza el origen de los contaminantes de los suelos estos pueden llegar por vía aérea transportados por el viento, que finalmente precipitan en el suelo, o su procedencia puede ser por el agua que transporta los contaminantes en suspensión o dilución, que al discurrir por el suelo el contaminante puede ser lixiviado permaneciendo por mucho tiempo en los diferentes niveles del suelo. Por esa razón conocer la calidad de otros componentes ambientales es importante como la calidad del agua y aire de la zona donde se encuentra la comunidad de Llacuabamba.

### 2.3. Bases Teóricas

El arsénico es un metaloide de química compleja que pueda existir como sólido, líquido o gas, es distribuido ampliamente en la naturaleza y transportado por el agua. Su forma mineral más común es la arsenopirita,  $\text{AsFeS}$ . Sus efectos en la salud es que puede causar llagas pequeñas en las manos y en los pies, y es notoriamente tóxico para los seres humanos. El consumo normal de arsénico en la dieta humana, a partir de los alimentos, es el orden de 50  $\mu\text{g}/\text{d}$ , con mayor proporción en el pescado, y en la comida marina. Dosis altas causan irritación gastrointestinal, dificultad para tragar, sed, presión sanguínea baja y convulsiones. La ingestión de 100 mg da como resultado un severo envenenamiento. El consumo de 130 mg puede ser fatal. Se considera que la dosis letal es de 1 a 2  $\text{mg}/\text{kg}$ ; sin embargo, en dosis bajas, menores de 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , no producen efectos tóxicos detectables y se cree que es benéfico para la salud. Su efecto es acumulativo y su eliminación demasiado lenta. Se le reconoce como cancerígeno y se le ha encontrado asociado con cáncer de la piel. Generalmente proviene de la contaminación por fumigación. (Jairo Romero R. 2013).

Los compuestos de arsénico como el óxido llamado arsénico blanco  $\text{As}_2\text{O}_3$  eran venenos comunes utilizados para el asesinato y el suicidio en tiempo de los romanos y en la Edad Media. En el siglo VII, se extendió en algunas sociedades europeas la creencia de que el arsénico no solo era un veneno, sino también una sustancia mágica que curaba ciertas enfermedades fue muy usada contra la peste. Los compuestos de arsénico se han utilizados con fines terapéuticos durante dos mil años, e incluso hoy en día alrededor de cincuenta fármacos chinos contienen este elemento, y una cantidad traza de este elemento aparentemente es esencial para la buena salud humana (Colin Baird y Cann Michael 2014).

El arsénico se sitúa en el mismo grupo de la tabla periódica que el fósforo y, por tanto, tiene una configuración electrónica de tipo  $s^2p^3$  en su valencia. La pérdida de los tres electrones  $p$  da lugar al ion  $+3$ , mientras que compartir los tres electrones da lugar al arsénico trivalente; en conjunto, estas tres formas se designan como AS (III). El arsénico (III) se encuentra comúnmente en las disoluciones acuosas y en los sólidos en forma de ion arsenito,  $\text{AsO}_3^{3-}$ , (que se puede considerar como  $\text{As}^{3+}$  enlazado a tres iones  $\text{O}^{2-}$  a su alrededor), o como una de sus sucesivas formas

protonadas  $\text{HAsO}_3^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ . Alternativamente, la pérdida de los cinco electrones de la capa de valencia da lugar al ion  $5+$ . Mientras que compartirlos todos ellos da lugar al arsénico pentavalente; en conjunto, entre dos formas designan como As (V) existe comúnmente como un oxoanión. (Colin et al., 2014).

Los metales pesados en el suelo pueden proceder de la roca originaria o provenir de actividades productivas que desarrolla el hombre. Los primeros tienen su origen en la geología local formada por la roca madre, la actividad volcánica, lixiviado de elementos químicos. En el ambiente generalmente se combina con otros elementos por ejemplo combinado con los elementos como el oxígeno, cloro y azufre se le denomina arsénico inorgánico. El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico. (Galán, Emilio y Romero Antonio, 2015).

Su uso es alto en la fabricación de pesticidas para la eliminación de mala hierba (maleza), como insecticida, etc.; son llamados plaguicidas arsenicales, por ejemplo, el arseniato de zinc que es en polvo y que se usó en los Estados Unidos como insecticida para los cultivos de papa y tomate. Por ser un elemento químico que en la naturaleza se encuentra en los estados elemental, trivalente y pentavalente y por ser un metaloide se une con los no metales y con metales, por esa razón en los plaguicidas arsenicales se encuentra en inorgánicos trivalentes como trióxido de arsénico, arseniato de sodio, arsenito de calcio, arsenito de cobre y los inorgánicos pentavalentes como el ácido arsénico, arseniato de sodio, arseniato de calcio, arseniato de plomo, arseniato de zinc. Como orgánicos pentavalentes se tiene al ácido cacodílico, ácido metanoarsónico, y la variedad de metanoarsonatos. Representando su uso una fuente de contaminación para los agricultores que lo usan que en algunos países muchos de ellos están siendo prohibido por la regulación ambiental, y que finalmente al ser vertido en el suelo son una causa de la presencia de arsénico en diferentes suelos de uso agrícola. Los pesticida más comunes basados en arsénico son: Los herbicidas de arsenito de sodio  $\text{Na}_3\text{AsO}_3$ , y el Verde de Paris  $\text{Cu}(\text{AsO}_3)_2$ , que contiene As (III), que son derivados metilados de ácidos de arsénico se utilizan todavía como herbicidas en diferentes países, el insecticida de arseniato de plomo  $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$ , y el herbicida de arseniato de calcio  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ , que contiene As(V). Los compuestos orgánicos que contienen arsénicos (V) se utilizan habitualmente en la comida de pollos para estimular su crecimiento y para evitar enfermedades algunos científicos están preocupados por la contaminación

de suelo y del agua debida al arsénico que se filtra en los residuos avícolas. (Colin et al., 2014).

Es importante comprender al suelo y valorar su función que actúa como una barrera de protección a otros medios como el hidrológico, cumpliendo la función de filtración, descomponiendo, neutralizando, almacenando los metales y nivelando, regulando la biodisponibilidad. Que sucede con estos factores de propiedades del suelo cuando están expuestos a una masa contaminante, por ejemplo, tenemos en el estudio realizado por Xanes en España, donde querían conocer cuál era el estado de oxidación del arsénico y cuál era el grado de contaminación de los suelos en Guadamar , donde se ocurrió la rotura de la presa de relave de Aznalcollar en el año 1998, contaminando con residuos de minerales extensas zonas de terrenos, que presentaban altos índices de contenido de arsénico, encontraron que el arsénico presente era As+5 y en menor cantidad As+3, llevan a la conclusión que es debido que este último fue absorbido por el arseniato de hierro (Escorodita), que ocasiono la reacción de óxidos de hierro de arsénico , eliminando el arsénico en su valencia más toxica que es +3 (Galán, Emilio et al., 2015). Los procesos del suelo, asociado al material parental del origen del suelo, modifican el comportamiento y su asociación con los diferentes elementos que forman el suelo, como los procesos físicos, químicos y biológicos, característicos del medio físico donde se encuentra el contaminante.

El suelo cuenta con diferentes funciones que en su conjunto forman la capacidad depuradora en el suelo, y que su mayor o menor capacidad de esta depende de algunos contenidos como el volumen de materia orgánica, carbonatos, óxidos, hidróxidos, pH, ente otros elementos o materiales de su composición en sus diferentes horizontes, contenido de arcilla, intercambio catiónico, textura, permeabilidad, actividad biológica del suelo, la presencia de gases, temperatura entre otros. En cada caracterización del suelo se puede evaluar el contenido de los elementos que van a dar su poder depurador y neutralización de contaminantes que tiene un límite y se pierde cuando los contaminantes saturan esta capacidad, este límite no se debe sobrepasar, porque el suelo empieza a funcionar mal, debido a que se han sobrepasado los límites de una o varias sustancias negativas para el suelo, convirtiéndose en un suelo contaminado y que representan un riesgo para la salud.

Determinar la calidad de suelo es importante para conocer y evaluar el riesgo que está expuesta una población, si en el suelo se encuentra un elemento contaminante y a la exposición causara efectos negativos a la salud de las personas. No está muy claro cuál es el mecanismo por medio del cual el arsénico causa cáncer; de hecho, no existe ningún modelo animal para ello. Las pruebas sugieren que actúa como cocarcinógeno, inhabilitando los mecanismos de reparación del ADN y, de este modo, incrementando la capacidad de producir cáncer de otros carcinógenos (Colin et al., 2014).

La definición de calidad del suelo puede ser tomada como la capacidad de funcionar un suelo para los fines que se pretende usar el suelo, establecido por los elementos, datos y propiedades que pueden ser medidos y valorados para determinar las capacidades de las funciones que se puedan desarrollar, esta definición de calidad de suelo que corresponde Departamento Agrícola de los Estados Unidos año 1999. Se basa en tres elementos que sostiene la calidad del suelo que son las funciones como la productividad del suelo, el flujo de agua que discurre, la filtración del suelo, y finalmente las propiedades del suelo, esta función última es donde se producen las reacciones físicas químicas, en relación filtrar, contener, absorber, almacenar y reciclar contaminantes como también a los nutrientes.

Las recomendaciones para conocer la calidad del suelo, es importante evaluar sus propiedades, como densidad, contenido de agua, pendiente, fisiografía y morfología del terreno y velocidad de los cursos de agua que discurren en la superficie, la determinación del contenido biológico está regulada por la capacidad de aireación del suelo, que favorece el desarrollo de lombrices, bacterias, hongos. Los parámetros químicos a medir en el suelo son el potencial de hidrogeno pH, la conductividad eléctrica y los contenidos de nitrato, fosforo y potasio. (Departamento Agrícola de los Estados Unidos, 1999).

En el año 2010, se formó un Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Adictivos Alimentarios con la finalidad de evaluar los efectos del arsénico en la salud de las personas expuestas por mucho tiempo en residir en lugares contaminados con el metaloide, entre sus conclusiones más importantes señalaron que en algunos países existen poblaciones que están consumiendo agua con concentraciones de arsénico

inorgánico que superan los 50 – 10 ug/litro, cuyas personas presentan problemas en su salud. (OMS, 2016)

Así mismo la OMS ha señalado que el metabolismo del arsénico al ingresar al organismo se metaboliza en el hígado y riñones por ello se puede encontrar en la orina y se acumula en los tejidos, huesos, uñas y piel. En otros seres vivos de la naturaleza que acumulan arsénico son los pescados y mariscos, en el mar carnes, así como también en las aves de corral, productos lácteos, cereales y en los cultivos de arroz también pueden ser fuentes presencia de arsénico. Sin embargo, es importante anotar que, en los mariscos, el arsénico está presente en estado orgánico, siendo menos tóxico, otros organismos marinos muestran alta concentración de arsénico.

El arsénico presente en el suelo que puede llegar por agua, aire o de la roca madre dependerá de una serie de procesos secuenciales o alterno que suceden en el suelo y que, determinada su distribución en los diferentes perfiles del suelo, entre los procesos básicos en el suelo se encuentran las adicciones, pérdidas, transformaciones, translocaciones y turbaciones, según Jaime Porta (2014). Uno de estos procesos tiene lugar en todos los suelos, mientras que otros sólo serán posibles con determinados valores de los factores incluidos los procesos en la formación del suelo.

La llegada del arsénico en el suelo considerada como adicciones están aportaciones en el suelo consisten que llegan a la superficie del suelo, localizándose en los primeros 10 centímetros en la estructura del suelo, en el Horizonte “O” o “A”. Llegando por un movimiento de un flujo de agua superficial o precipitándose en suspensión por el aire. Sucediéndose posteriormente los procesos físicos, reacciones químicas, que puede ser simple o muy compleja de acuerdo con la naturaleza, elementos y estructura del suelo. Y una vez el arsénico presente en el suelo se convierte en un peligro para la salud de una población según Laurwerys (1994), en su Estudio de Toxicología Industrial se refiere al arsénico en su dinámica toxicocinética que ingresa al organismo de los animales y en el hombre por dos vías gastrointestinal y respiratoria, siendo la absorción por vía dérmica baja y alcanza solamente el 2%.

Por eso motivo es importante realizar la evaluación de la calidad de suelo y conocer e identificar al contaminante, para adoptar las medidas de descontaminación

de suelos y que se convierta en un peligro para la salud de los pobladores que ocupan un suelo con contenido altos de arsénico, porque pasa a la cadena trófica, acumulándose en los diferentes cultivos agrícolas.

La importancia de determinar el contenido de metales de suelo, su desplazamiento y asociación, como la capacidad de absorción de las plantas en su acumulación nos permite conocer las cantidades que pueden pasar a la cadena trófica. Los procesos secuenciales y alternos que suceden en el suelo van a determinar la distribución y permanencia de los metales pesados en el suelo.

La actividad minera motor de nuestra economía y con un potencial minero todavía por explotar, encontramos en nuestro territorio una serie de yacimientos de minerales polimetálicos con vetas de oro, plata o cobre (principales metales de explotación), que se encuentran asociados con arsénico, la presencia de arsénico en un yacimiento de un mineral comercial, reduce el valor comercial actual y el yacimiento es clasificado como sucio; en la actualidad los estándares ambientales implementados en las fundiciones y refinерías no aceptan minerales sucios (con presencia de arsénico), porque perjudica las operaciones de beneficio en las fundiciones y refinерías. La presencia de arsénico en los yacimientos de oro, plata, cobre, zinc entre otros se convierte un problema para el beneficio, comercialización del mineral, que en la actualidad existen altas penalidades económicas para las empresas que comercializan minerales con contenido de arsénico.

A nivel internacional y nacional se les exige a las fundiciones y refinерías que no generen emisiones de polvo o gases con contenido de arsénico, debido a su alta toxicidad y a los graves problemas de salud que causan.

En la actualidad la minería viene realizando beneficio de minerales refractarios, minerales de baja ley, porque los yacimientos minerales de alta ley se están agotando, mientras que las reservas de baja ley se encuentran disponibles pero que en muchos casos los yacimientos contienen arsénico, complicando el proceso de los minerales refractarios en yacimientos auríferos y de cobre.

Los problemas de la asociación de yacimientos de oro con arsénico se convierten en una dificultad y limitante cuando se realiza su extracción y beneficio del metal comercial, siendo el arsénico considerado un residuo contaminante por sus efectos negativos al ambiente.

El principal estudio sobre la calidad ambiental y la actividad minera en el área de estudio fue el realizado por las autoridades del Ministerio de Energía y Minas (1997), que quisieron conocer sobre la situación de los daños causados por la contaminación ambiental por efecto de la minería, lo cual motivó la realización de otros estudios posteriores realizado por cada empresa minera que se ubica en el distrito de Parcoy. El estudio fue realizado como parte del proyecto de evaluación de las diferentes cuencas hidrográficas donde se ha realizado actividad minera por varios años, antes de la promulgación de la legislación ambiental vigente para conocer las consecuencias de los depósitos de relaves, desmontes de minas, pasivos ambientales y que efectos han ocasionado en áreas agrícolas y su ámbito de influencia en los centros poblados cercanos. Las evaluaciones territoriales tenía como fin constatar el grado de contaminación ambiental y los efectos al medio ambiente por la mala prácticas de minería sin tener un control y mitigación de sus efectos ambientales negativos, y que han causado la degradación de componentes ambientales como el suelo, agua y aire, dejando pasivos ambientales mineros y daños a los ecosistemas donde se realizaba la producción minera y que son un riesgo para la salud de las poblaciones o comunidades campesinas.

La empresa minera formal cuenta con un plan de monitoreo en el río Llacuabamba y Parcoy para detectar la presencia de metales, en los reportes realizados de sus monitoreos señala que el contenido de arsénico en la parte alta de la cuenca es de 0.07 a 0.09 mg/L estando por debajo del ECA para agua.

Otra causa de contaminación del arsénico en el suelo que es medio receptor es la presencia del elemento químico en las aguas subterráneas, según Jairo Romero algunas aguas subterráneas presentan en forma natural, contenidos indeseables de arsénico; esto puede originarse en la disolución de magma y de rocas sedimentarias cuaternarias (Jairo Romero, 2013). Un ejemplo de ello fue en la ciudad de Ilo, cuando la población protestaba que el agua que llegaba a sus hogares tenía alto contenido de

arsénico, culpando a la empresa Southern Perú, quien se defendía que sus yacimientos de cobre que eran explotados no contenían arsénico, se vieron obligados por la presión social de realizar un estudio hidrogeológico que determinó que el agua subterránea lixiviaba un depósito de arsénico en su trayecto siendo la causa de la contaminación del agua. Además, Jairo Romero precisa que el arsénico tiene cinco electrones en su órbita más externa y puede existir en diferentes estados de oxidación  $As^{+5}$ ,  $As^{+4}$ ,  $As^{+3}$ ,  $As^{3-}$ . Especificando que el arsénico como As en el agua es insoluble, y en arsenitos es bastante soluble. Es la explicación como se libera rápidamente en un componente natural como el suelo. El agua potable, sobre todo la procedente de las aguas subterráneas, es una de las principales fuentes de arsénico para muchas personas (Colin et al., 2014), la presencia en el agua del arsénico se convierte en un riesgo elevado y peligroso para las diferentes poblaciones, para el riesgo y la bebida de animales.

### **2.3.1. Marco Normativo del Suelo:**

En el Perú, se ha fijado los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos, para el caso del arsénico se refiere en las categorías del suelo según su uso el más alto en concentración es esta categoría de uso comercial, industrial o extractivo (donde se encuentra la actividad minera), se considera Arsénico Total 140 mg/Kg en concentración, a diferencia de los Estados Unidos que a través de su Agencia de Protección Ambiental EPA en sus siglas de inglés ha establecido Arsénico 50 mg/ kg.

La problemática de contaminación de suelos en nuestro país, recién ha comenzado a ser atendida, es el componente natural que más ha tardado para ser normado y regulado, y que hasta el momento se encuentra en una fase de implementación de conocer la calidad de los suelos peruanos, para lograr tal propósito se publicó la primera norma de Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, aprobado por el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, publicado en el Diario Oficial “El Peruano” el 25 de marzo de 2013, estableciéndose 14 parámetros orgánicos y 07 parámetros inorgánicos, reconociéndose tres categorías de usos de suelo a nivel nacional que son: Agrícola; Residencial o parques; Comercial, industrial o extractivo,

en esta última categoría se considera a la actividad minero energética. Al año de haber aprobado los ECA de suelo se promulga se aprobaron disposiciones complementarias (D.S. N° 02-2014-MINAM), para poder efectuar la aplicación de los ECA para suelo, estableciéndose las fases para la aplicación del cumplimiento y que toda persona jurídica pública o privada tenía que cumplir; siendo tres fases que son las siguientes; Fase de identificación, fase para caracterización y fase de remediación, luego se promulgo el Decreto Supremo N° 013-2015.MINAM, para las nuevas reglas de presentación y evaluación de los informes de identificación de sitios contaminados; posteriormente se aprobó en el mes de abril del mismo año la Guía de Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos (PDS), entre otras normas complementarias, y que en la actualidad todavía se encuentra en la implementación de los ECA para suelo en la primera fase, y no se ha llegado a implementar los planes de descontaminación de suelos de las evaluaciones realizadas por las diferentes empresas y que fueron presentadas a su sector correspondiente, durante este proceso administrativo de implementación todavía no terminado, el Ministerio del Ambiente MINAM, promulgo la Resolución Ministerial N° 182-2017-MINAM, que propuso a consulta el nuevo proyecto de Estándar Calidad Ambiental para suelo, proponiendo algunos cambios que son:

- Incorpora tres nuevos parámetros como total, tricloroetileno (TCE) y tetracloroetileno (PCE), estos tres parámetros incluidos están vinculados productivos como minería, industria textil, lavanderías, entre otras.
- Propone modificar los valores de los parámetros de Bario Total y Plomo Total, para el caso del plomo solo para uso de suelo industrial haciéndolo más estricto, propone 260 mg/kg para suelo de categoría comercial y 600 mg/kg para suelo industrial extractivo, es más específico dividiendo una categoría en dos sub categorías.
- Propone eliminar los parámetros de plaguicidas como: Aldrín, Endrín, DDT y Heptacloro, es debido a que en el ECA vigente no se tuvo en cuenta que estos plaguicidas estas prohibidos desde el año 1991 por el Ministerio de Agricultura.

- Referente al Arsénico en la exposición de motivos menciona que este parámetro es de relevancia para la salud humana por su alta toxicidad y sus características cancerígenas, sobre todo el arsénico inorgánico identificó efectos en casi todos los órganos y tejidos estudiados, especialmente sobre la piel, donde se pueden desarrollar enfermedades como la hiperqueratinización o hiperpigmentación. Además, menciona que la Agency International for Research on Cancer (IARC) y la US EPA clasifican al arsénico como agente cancerígeno. También se refieren a las mineralizaciones del arsénico se encuentra frecuentemente en yacimientos polimetálicos en el Perú y, a través de actividades extractivas se pueden liberar el arsénico al ambiente causando la contaminación de suelo, por lo que deciden mantener los estándares iguales de arsénico y que se basa en lo establecido por la normativa alemana, que esta especificada en la ley para la protección de suelo y su reglamento del Gobierno Federal de Alemania del año 1999.

Finalmente, con la promulgación del D.S. N° 011-2017-MINAM se aprobó los nuevos parámetros para la calidad de suelos, actualmente vigentes y también se emitió el D.S. N° 012-2017-MINAM, para la remediación o rehabilitación mediante la gestión de sitios contaminados.

Las normas legales emitidas con relación al recurso suelo son:

- Decreto Supremo N° 002-2013. MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.
- Decreto Supremo N° 002-2014. MINAM. Disposiciones Complementarias para el cumplimiento de ECA de suelos.
- Decreto Supremo N° 003-2014. MINAM Directiva que Establece Procedimiento de Adecuación de los Instrumentos de Gestión Ambiental a Nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA).
- Decreto Supremo N° 005-2014. MINAM. Establece Disposiciones Reglamentarias para la Aplicación del Numeral 12.3. del Artículo 12 de la Ley 29325.
- Decreto Supremo N° 013-2015. MINAM. Se dictaron las nuevas reglas para la presentación y evaluación del informe de identificación de sitios

contaminados, especifica los plazos para su presentación ante la autoridad competente.

- Resolución Ministerial N° 085-2014. MINAM Guía para el Muestreo de Suelos y Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos.
- Resolución Ministerial N° 125-2014. MINAM Protocolo de Muestreo por Emergencia Ambiental.
- Resolución Ministerial N° 034-2015. MINAM Aprueban Guía para Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente.
- Actualizan métodos de ensayo para el análisis de los parámetros de los Estándares de calidad Ambiental para Suelo. R.M. N° 137-2016-MINAM.
- Disponen la prepublicación en el Portal Institucional del Ministerio de Ambiente del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. R.M. N°182-2017-MINAM.
- Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Para Suelo.
- Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM. Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados.

Cuadro 1  
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

N°	Parámetros en mg/kg PS	Usos del Suelo			Método de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial / Parques	Suelo comercial / Industrial/ Extractivo	
<b>I ORGÁNICOS</b>					
<b>Hidrocarburos aromáticos volátiles</b>					
1	Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 EPA 8021
2	Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
3	Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
4	Xilenos	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
<b>Hidrocarburos poliaromáticos</b>					
5	Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
	Benzo pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
<b>Hidrocarburos de Petróleo</b>					
6	Fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
7	Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28)	1 200	1 200	5 000	EPA 8015
8	Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40)	3 000	3 000	6 000	EPA 8015
<b>Compuestos Organoclorados</b>					
9	Bifenilos policlorados -PCB	0,5	1,3	33	EPA 8282 EPA 8270
10	Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
11	Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
<b>II INORGÁNICOS</b>					
12	Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
13	Bario total	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
14	Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
15	Cromo total	**	400	1000	EPA 3050 EPA 3051
16	Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192
17	Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
18	Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
19	Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW- AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Fuente. *D.S.N°011-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Suelo.*

## 2.4. Características Geográficas

La distribución de los elementos químicos en los diferentes cuerpos receptores, va depender de las características o factores geográficos para facilitar su distribución, depósito o dispersión en el agua, aire y suelo. La acumulación o distribución de los metales o metaloides como el caso de arsénico en el suelo es importante comprender las condiciones del clima, geología, topografía, geomorfología, calidad de agua entre otros factores de un territorio, y poder precisar su origen en el suelo, para posteriormente analizar sus influencias y repercusiones con otros elementos, especies, ecosistemas y la salud del hombre.

Por ejemplo, la geología tiene una profunda influencia en la génesis del suelo, por el origen de la roca madre que es degradada por los factores físicos químicos de las condiciones climáticas, y que va actuar desde la génesis del subsuelo. Por ello es importante el conocimiento del medio físico que nos permitirá conocer el origen, distribución y acumulación de los elementos químicos y los procesos que actuaron en su distribución en el territorio. Conociendo que las rocas constituyen el origen de los suelos y se componen de minerales que se formaron con la combinación de elementos como oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio. Todas las rocas se desintegran para formar suelos, de acuerdo con los siguientes procesos que forman parte del ciclo geológico (Rowe, 2001). El intemperismo da lugar a los suelos residuales, que por el proceso transporte forman suelos transportados, y éstos, a través de los procesos de formación de roca, vuelven a formar roca, completando el ciclo (Michel, 1993).

Los procesos químicos físicos son importantes en el suelo porque mediante el intemperismo químico forma pequeñas partículas, como arcillas, y disuelve los minerales en agua. Los procesos químicos incluyen hidratación, hidrólisis, carbonatación, oxidación, y solución (Iturbe, 2014) todos estos procesos están relacionados e influenciados por las condiciones físicas del territorio. A continuación, se realiza una caracterización de los distintos factores formadores ambientales que tienen relación con la formación de suelo.

### 2.4.1. Clima:

Los factores climáticos tienen influencia en la descomposición de la roca madre que da origen a la formación del suelo, cuando nos referimos a la localidad, consideramos la información estadística de varios años, para describir características climáticas más importantes a lo largo del tiempo, que son: Temperatura, humedad, precipitación, vientos, etc. Así podemos afirmar que el tiempo es el estado de las condiciones atmosféricas en un determinado territorio, siendo el clima la sumatoria de tiempos.

El clima determina en alto grado el tipo de suelo y vegetación e incluye, por lo tanto, en la utilización de la tierra (Seamann, 1979). En la zona de la comunidad de Llacuabamba el clima se caracteriza por ser una zona de transición entre la sierra y la ceja de selva, donde se ubica el centro poblado a 3,100 msnm. Para clasificar el clima de la zona y tomando en cuenta el método de Thornthwaite (1948), que usa el SENAMHI para la clasificación de clima en el Perú. Llacuabamba presenta un clima con invierno seco semifrío húmedo, y una época lluviosa, húmeda y fría, presentándose en las partes más altas fuertes heladas con intenso frío, con una variación térmica durante el día y la noche.

En la zona de estudio se cuenta con información meteorológica proveniente de dos estaciones meteorológicas de propiedad de minera MARSА, una estación se ubica en la Unidad Operativa San Andrés a 3,999 msnm. y la segunda en el mismo pueblo de Llacuabamba en el barrio de las Chilcas 3,232 msnm.

Cuadro 2  
Ubicación de las Estaciones Meteorológicas

Estación	Coordenadas UTM WGS 84 18S		Altitud (msnm)	Periodo De Registro
	Norte	Este		
San Andrés	9 108 695	232 256	3 900	2008 – 2016
Las Chilcas	9 110 484	230 519	3 232	2011 – 2016

Fuente. *MARSА, 2017*

### 2.4.1.2 Temperatura:

Las condiciones geográficas – climáticas están influenciadas por la altitud y la variación de la temperatura con un gradiente térmico de orden de 0,6 °C por cada 100 m (0,6/100m), presentando una temperatura promedio mensual de 13,00 °C, con un valor máximo de promedio de 21,00 °C (meses de febrero) y un valor promedio mínimo de 5,10 °C (meses de julio). Los datos obtenidos de temperatura son de las estaciones meteorológicas de propiedad de minera MARSA.

Siendo los datos de temperatura los siguientes:

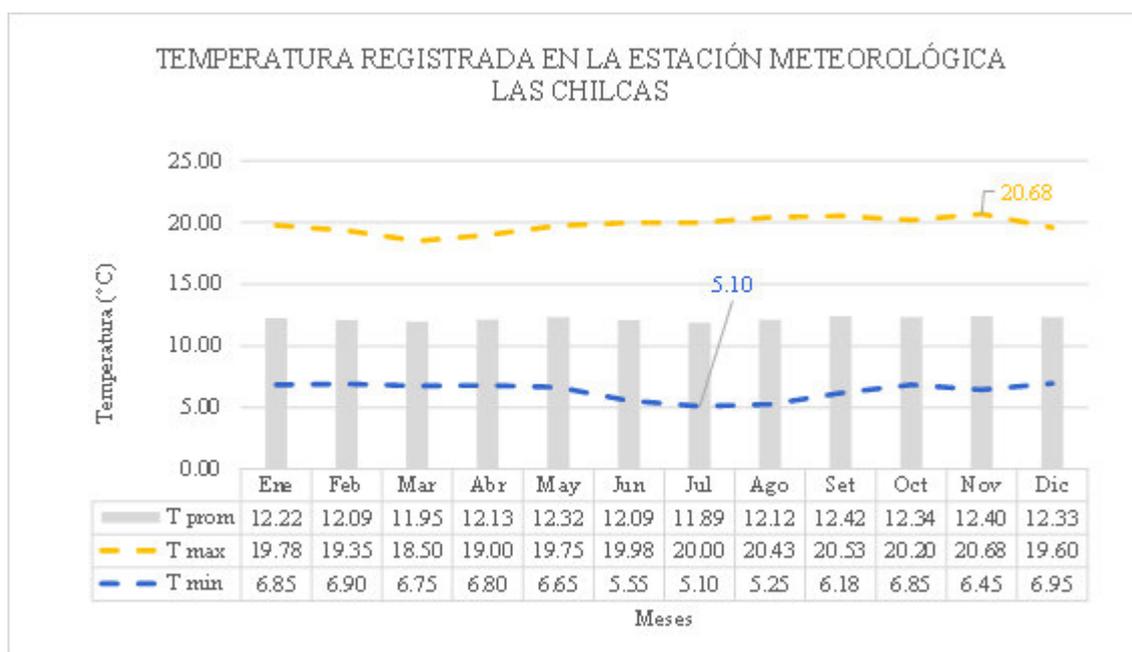
Cuadro 3  
Temperatura Mensual en la Estación Meteorológica Las Chilcas

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
<b>T máx</b>	19.78	19.35	21.50	19.00	19.75	19.98	20.00	20.43	20.53	20.20	20.68	19.60	19.81
<b>Tprom</b>	12.22	12.09	11.95	12.13	12.32	12.09	11.89	12.12	12.42	12.34	12.40	12.33	12.19
<b>T mín</b>	6.85	6.90	9.75	6.80	6.65	5.55	5.10	5.25	6.18	6.85	6.45	6.95	6.36

*\*Periodo de registro 2011-2016*

Fuente. *Estación Meteorológica de Las Chilcas. MARSA, 2017.*

En el territorio de la comunidad de Llacubamba se presenta variaciones diarias y estacionales de temperatura, las cuales cambian con la altitud vertical sumando a otros factores como el relieve y la cobertura vegetal (arbórea). La influencia de la temperatura tiene un efecto en los procesos edafológicos del suelo, causando efectos sobre la materia orgánica presente en el suelo, influenciando el desarrollo de la actividad microbiana del suelo, aumentando cuando se tiene buenas condiciones de temperaturas y disminuye cuando se tiene temperaturas bajas, además la solubilidad de las sales está regulada por la temperatura del suelo, cuando aumenta la temperatura la solubilidad es mayor liberando metales pesados en el proceso, los minerales están presentes formando sales, resultando liberados mediante un proceso de mineralización del suelo regulado por la temperatura y humedad del suelo. Soil Taxonomy (1975) introduce la importancia de los estudios de los regímenes de temperatura y humedad del suelo.



\* Período de Registro: 2011-2016.

**Figura 2. Temperatura Mensual (Máxima, Mínima, Promedio) registrada en la Estación Las Chilcas. Fuente: Estación Meteorológica de Las Chilcas de MARSA. 2017.**

### **Temperatura del Suelo:**

La temperatura del suelo va a regular la dispersión, precipitación de los diferentes elementos químicos en el suelo, también va a influenciar en el desarrollo de la vida bacteriana del suelo, y crear condiciones para el aumento o disminución de la materia orgánica. Para el cálculo de régimen de temperaturas en el suelo se tiene como referencia al soil taxonomy (1975), que sustenta que existe una relación entre la temperatura del aire y la temperatura del suelo y que para su cálculo se debe adicionar un 1 °C para estimar la del suelo. En conclusión, la temperatura del suelo va a ser mayor a la del aire. También considera que se debe tomar en cuenta el drenaje, la pendiente, cobertura vegetal, tipos de sembríos cultivados, en algunos casos dependiendo del año se puede estimar la media de verano o invierno que fluctúa entre 0,6 °C a 1 °C. Soil taxonomy afirma que la temperatura en el suelo a 50 cm es un grado superior a la del aire en las diferentes estaciones del año.

### 2.4.1.3. Precipitación:

La Organización Meteorológica Mundial (2017) define a la precipitación como el agua, tanto en forma líquida como sólida, que cae sobre la superficie de la tierra. La precipitación viene siempre precedida por los fenómenos de condensación y sublimación o por una combinación de los dos. Analizar la data de los registros de precipitación es importante porque es un elemento importante del clima que es definitorio, es un factor que controla el ciclo hidrológico de una determinada cuenca hidrográfica, también de la vegetación, distribución de las especies, ecología, paisaje y usos del suelo de una región o territorio.

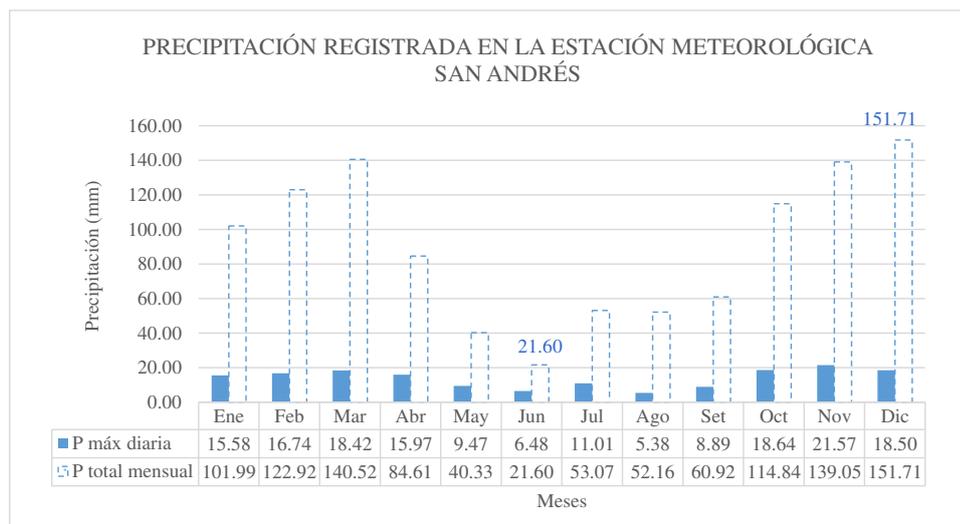
En el distrito de Parcoy las precipitaciones son fuertes de los meses de verano de diciembre a marzo favorecen al almacenaje de agua en el suelo, reactivación de quebradas, aumento de caudal de los ríos y la recarga de los acuíferos, siendo el mes de diciembre el mes más lluvioso con 104 mm/mes en la estación de Las Chilcas. En los meses de mayo a setiembre se tiene la ausencia de precipitaciones en el invierno conocida como la época seca en la región, registrándose precipitaciones promedio acumuladas de 10 mm/mes. Es en este periodo que la evapotranspiración potencial es mayor a consecuencia de la radiación solar que es la fuerte en este periodo de todo el año, provocando un aumento de transpiración estomática y la escasez del agua afecta y condiciona el uso de los terrenos comunales.

Cuadro 4  
Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica San Andrés

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
<b>P máx</b>	15.58	16.74	18.42	15.97	9.47	6.48	11.01	5.38	8.89	18.64	21.57	18.50	13,89
<b>P Total</b>	101,99	122,92	140,52	84,61	40,33	21,60	53,07	52,16	60,92	114,84	139,05	151,71	1083.72

\* *Periodo de Registro: 2011-2016*

Fuente. *Estación Meteorológica de Las Chilcas. MARSAs, 2017.*



\*Periodo de Registro: 2011-2016

**Figura 3. Precipitación Mensual (promedio y media máxima) registrada en la Estación San Andrés. Fuente. Estación Meteorológica de Las Chilcas. MARSА, 2017.**

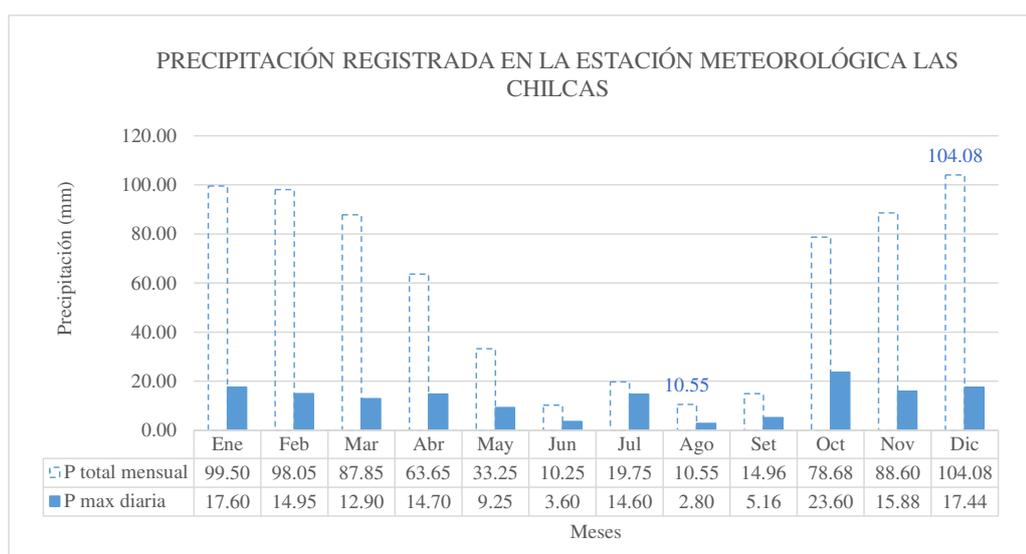
**Cuadro 5**

**Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica Las Chilcas**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
<b>P máx</b>	17.6	14.95	12.9	14.7	9.25	3.6	14.6	2.8	5.16	23.6	15.88	17.44	34.76
<b>P total</b>	99.5	98.05	87.85	63.65	33.25	10.25	19.75	10.55	14.96	78.68	88.6	104.08	709.17

\*Periodo de Registro: 2011-2016.

Fuente. *Estación Meteorológica de Las Chilcas. MARSА, 2017.*



\*Periodo de Registro: 2011-2016.

**Figura 4. Precipitación Mensual (Máxima, Mínima, Promedio) registrada en la Estación Las Chilcas. Fuente. Estación Meteorológica de Las Chilcas MARSА, 2017.**

#### 2.4.1.4. Radicación Solar:

Según la Organización Meteorológica Mundial (1917) La radiación es un proceso de transmisión de energía por medio de ondas electromagnéticas y el modo por el cual llega la energía solar a la tierra. Su intensidad depende de la latitud, altitud, nubosidad y pendiente.

El nivel de radiación solar que llegue al suelo depende de varios factores como cobertura vegetal, pendiente, altitud, topografía, dirección de viento, etc. Por lo tanto, la radiación que llega al suelo es menor (Chang, 1968). El periodo de mayor radiación solar se presenta en los meses de junio 5,14 KWh/m<sup>2</sup>, julio 5,25 KWh/m<sup>2</sup>, Agosto 5,46 KWh/m<sup>2</sup>. Siendo el mes con la radiación más alta el mes de noviembre con 5,60 KWh/m<sup>2</sup> y con una radiación anual horizontal de 5,19 KWh/m<sup>2</sup>.

Cuadro 6  
Valor Medio Mensual de la Irradiación Solar Diaria Horizontal en KWh/m<sup>2</sup> Año 2016.

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Llacuabamba	5,03	4,83	4,84	4,81	4,99	5,14	5,25	5,46	5,48	5,44	5,60	5,38	5,19

Fuente. *Senammhi. Año 2017*

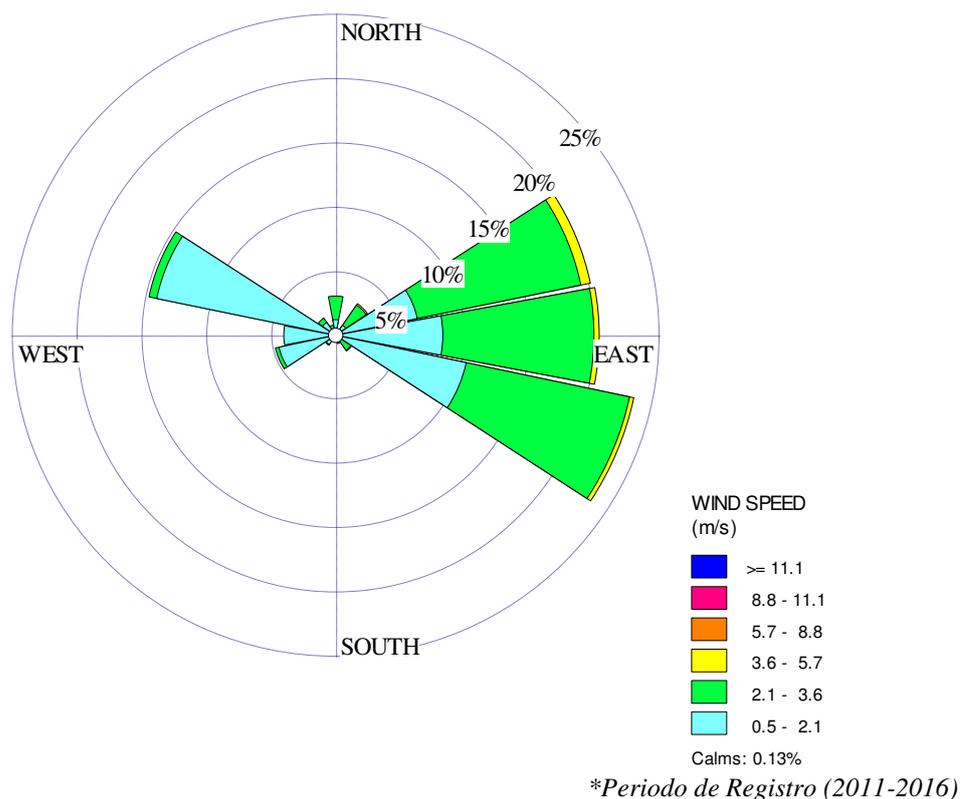
#### 2.1.4.5. El Viento:

El movimiento general de las masas de aire está influenciado por la temperatura del aire y aspectos locales como la topografía, vegetación, etc; modifican la dirección e intensidad del viento, afectando las características del clima en general. El viento es definido como aire en movimiento horizontal, y del posible desplazamiento vertical. Los efectos del viento pueden ser beneficios por la dispersión de contaminantes, polinización de determinadas especies vegetales, producción de energía, etc, pero también perjudiciales como daños mecánicos a la vegetación de cultivos y repoblaciones, desecación, transporte de parásitos y virus. (Ministerio del Ambiente de España, 2004).

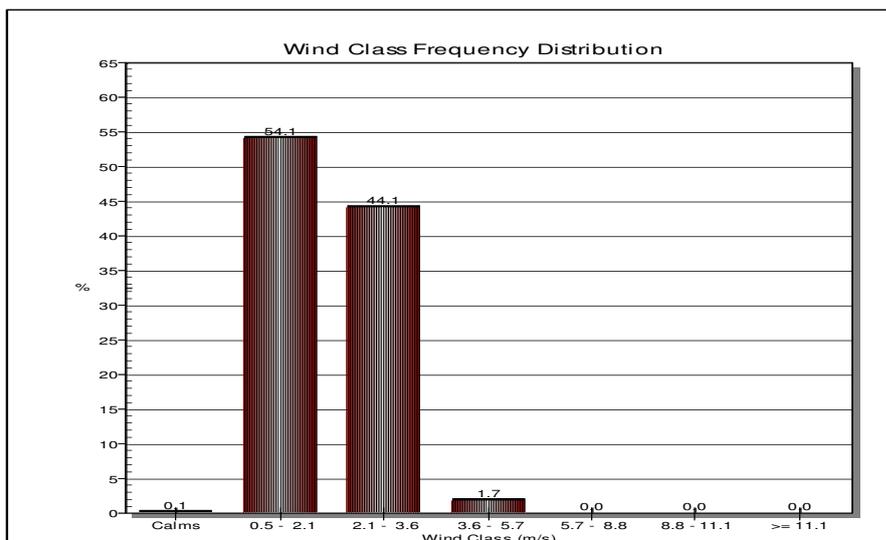
En la zona de estudio se debe conocer las variaciones del viento en su dirección dominante del viento, las frecuencias de tales direcciones y velocidades, conocer estas

tres variables que condicionan la secuencia del desplazamiento del viento en un territorio, es necesario para entender el desplazamiento de los contaminantes.

En la comunidad de Llacubamba según los datos de la estación meteorológica de Las Chilcas de propiedad de minera MARSA, para el periodo 2011 - 2016 se registran el mayor porcentaje a lo largo del periodo vientos de 1.8 km/h a 16,19 km/h, siendo considerados por su velocidad según la clasificación de Beaufort como vientos leves a moderados por estar entre el rango de 5 a 20 km/h. La dirección del viento que predomina es la dirección Este Sureste (ESE), en segundo lugar, la dirección Este (E). Sin embargo, en algunos meses de año se han como en los meses de agosto, setiembre y octubre se han registrados vientos promedios máximos de hasta 41,38 km/k, en este caso considerado brisa fuerte.



**Figura 6. Rosa de Vientos anual - Estación meteorológica Las Chilcas. Fuente. Estación Meteorológica de La Chilcas. MARSA. 2017.**



*\*Periodo de Registro (2011-2016)*

**Figura 7. Distribución de Frecuencia de Clases de Vientos– E. Las Chilcas. Fuente. Estación Meteorológica de La Chilcas. MARSA. 2017.**

#### **2.4.2. Geología:**

La información de la geología del área de estudio nos permite conocer las diferentes variedades de estructuras y rocas que derivan de los procesos formadores de las correspondientes composiciones químicas y mineralógicas, que se van a encontrar finalmente en el suelo. La geología del área donde se encuentra la comunidad de Llacuabamba es considerada como una zona aurífera Parcoy a Buldibuyo, encontrándose según la carta geológica nacional un manto de rocas intrusivas denominada “Batolito de Pataz”, formado por filitas, pizarras y rocas volcánicas, que se asocian al denominado complejo del Marañón. El batolito tiene una longitud de 50 kilómetros y un ancho de 2,5 kilómetros, afloran pequeños intrusivos de pórfido de diorita, andesita del Cretáceo Superior, y rocas sedimentarias de la formación Criznejas (Rivera, 2005).

Llacuabamba forma parte del distrito minero de Pataz, donde existe zonas de fallamiento y fracturamientos preexistentes del periodo intrusivo, con canales de circulación de soluciones mineralizadas, encontradas en espacios estructurales, ubicándose en este lugar las vetas auríferas; por los eventos tectónicos las vetas fueron falladas y plegadas, siendo vetas irregulares con estructuras no continuas. Las estructuras de las áreas mineralizadas están constituidas por cuarzo lechoso, pirita,

arsenopirita, marmatita, esfalerita, calcopirita, galena, pirrotita y oro en estado nativo y libre. (MARSA, 1995).

La geología local está formada por depósitos de cuaternarios, con estructuras mineralizadas poco expuestas, en esta zona se encuentra la veta Esperanza que aflora hacia la superficie en el área conocida como “El Gigante”, que contiene las vetas auríferas, formado además de conglomerado arenoso, limolitas y volcánicos.

Cuadro 7  
Características Geológicas.

<b>GEOLOGÍA LOCAL</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>ROCAS METAMÓRFICAS</b>	Las rocas metamórficas están referidas a la unidad geológica correspondiente a Complejo del Marañón y están constituidas por pizarras oscuras y filitas grisáceos. Intercaladas con pequeñas capas de esquistos cloritizados y metavolcánicos.
<b>ROCAS INTRUSIVAS</b>	Este tipo de litología está representada por el Intrusivo Pataz (Pal-i) y se liga a una franja conocida como “Batolito de Pataz”.  El Intrusivo Pataz está constituido por dos facies plutónicas: La primera de microdiorita - diorita y la segunda facies por granodiorita - granito, ambas litologías componen la característica general de esta unidad.
<b>ROCAS SEDIMENTARIAS</b>	Secuencia sedimentaria del Paleozoico y Mesozoico perteneciente al Grupo Mitu (Ps-grm), que aflora al SW del Batolito de Pataz, desde Alaska por el Sur hasta Cáchicas por el Norte. La secuencia está caracterizada por la unidad volcano sedimentario constituida por areniscas, limolitas, micro de riolitas dacitas y calizas del grupo Pucará.
<b>DEPÓSITOS DEL CUATERNARIO</b>	Los depósitos Cuaternarios están constituidos por suelos residuales, coluviales, fluvio-glaciares y aluviales, se extienden cubriendo gran parte del área con espesores que varían decenas de metros, formando un relieve abrupto con vegetación de Puna. Están conformados por rocas sueltas, grava, arenas y limos inconsolidados de naturaleza variada en matriz areno limosa, arcilla que ocupan las laderas y fondo de quebradas.
<b>DEPÓSITOS ANTROPOGÉNICOS</b>	Los depósitos corresponden a materiales importados o acarreados por el hombre que son acumulados en área de relaves y en parte constructiva de plataformas y diques de pozas de eventos. En la primera están constituidos en regular por materiales finos y en la segunda son de fragmentos menores de rocas cuya composición litológica es distinta al local superficial.

Fuente. *MARSA 2014*.

Según los estudios realizados por minera MARSA (2014) la geología estructural está conformada por fallamientos, fracturamientos y plegamientos en rocas intrusivas, metamórficas y sedimentarias. Referente al fallamiento se consideran tres sistemas de fallamientos principales que son:

- Sistema de fallamiento NW-SE longitudinal.
- Sistema de fallamiento NE-SW a NS diagonal.
- Sistema de fallamiento principal EW o transversal.

**El sistema de fallamiento NW-SE longitudinal;** la formación de este fallamiento sucedió después de la mineralización, formándose rumbos subparalelos que presentan las vetas, conocidas con los nombres siguientes: Gigante, Esperanza, Yanaracra sur, Cachaco, Mano de Dios y Yanaracra.

**Sistema de fallamiento NE-SW a NS diagonal;** están agrupadas en bloque, las vetas se hallan dependiendo del ángulo de la falla que determina su rumbo y buzamiento y que depende del ángulo de la falla, estas vetas son: Cabana, Cinco, La Española y el Sistema Chilcas. (MARSA, 2014).

**Sistema de fallamiento Principal EW o Transversal,** este sistema de fallas es de pre-mineralización con vetas de NW-SE y también de post-mineralización con rumbo de este a oeste, lo que produce un alto buzamiento al norte o sur, se tiene las principales fallas siguientes: Falla Uno, falla Veta Pumas, Yanaracra Norte, Cinco, Cabana, San Vicente. (MARSA, 2014).

#### **2.4.2.1. Estratigrafía:**

La estratigrafía que es el estudio de las rocas como cuerpos de extensión tridimensional para determinar su extensión y secuencia; y como consecuencia determinar así, el orden y temporalidad de los eventos de la historia terrestre registrados en tales cuerpos rocosos. (Caballero, 2015). La definición de la estratigrafía es el estudio de las sucesiones de roca y la, correlación de eventos y procesos geológicos en tiempo y espacio (Guerrero, 2008).

La estratigrafía en el área de estudio en la parte baja está formada por rocas metamórficas, seguida de discordancias de sedimentos continentales perteneciente a los periodos Paleozoico y Mesozoico. También se encuentran derrames y piroclásticos de origen volcánico, intrusivo granodiorítico, cortado por rocas sedimentarias que comprende desde la parte inferior a la superior de todo los volcánicos (MARSA, 2014).

Cuadro 8  
Formaciones Estratigráficas

<b>FORMACIONES ESTRATIGRÁFICAS</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>COMPLEJO DEL MARAÑÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formado por andesitas, filitas negras y pizarras, corresponde a la edad Precambriano y Cambriano.</li> <li>• También se encuentran rocas metamórficas.</li> </ul>
<b>GRUPO AMBO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La litología de este grupo está constituido por areniscas y lutitas.</li> <li>• Conglomerados de espesores de 100 a 200 metros.</li> <li>• Estas rocas pertenecen al Grupo Missispiano medio.</li> </ul>
<b>GRUPO COPACABANA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encuentra rocas calizas, lutitas negras y limonitas</li> <li>• La estratificación de las rocas formada por capas delgadas</li> <li>• Estas rocas pertenecen al Grupo Copacabana</li> <li>• Edad Pérmico Inferior.</li> </ul>
<b>GRUPO MITU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el grupo Mitu se encuentran rocas areniscas, conglomerados, la estratigrafía es formada por capas.</li> <li>• Es extenso llegando desde Vijus a Tayabamba</li> <li>• Edad del Permiano</li> </ul>
<b>GRUPO PUCARA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formado por rocas calizas</li> <li>• Su extensión abraza de Buldibuyo hasta la zona de Chagual</li> <li>• Corresponde al periodo Noriano y Sinemuriano.</li> </ul>
<b>GRUPO GOYLLARISQUIZGA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Goyllarisquizga contiene areniscas de variedad de colores siendo las más abundantes la de color rojo, seguida de las marrones.</li> <li>• Se encuentran ubicadas sobre el geoanticlinal del Marañón.</li> <li>• Su edad corresponde a Neocomiana Aptiana.</li> </ul>
<b>FORMACIÓN CRIZNEJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La “Formación Criznejas” denominada así por el geólogo Benavides en el año 1956, está conformada por calizas.</li> <li>• Este grupo corresponde a la edad Neocomiana.</li> </ul>
<b>FORMACIÓN ROSA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La Formación Rosa tiene rocas areniscas, y conglomerados gruesos</li> <li>• Su edad geológica corresponde al Albiano Superior - Cenomaniano Inferior.</li> </ul>
<b>VOLCÁNICOS LAVASEN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta formación estratigráfica está cubierta por residuos volcánicos, con una cobertura que ha dado origen a un manto, llamado volcánicos Lavasen.</li> <li>• Las rocas que se encuentran son andesitas de color gris a oscuro.</li> <li>• También se encuentran tufos volcánicos y material piroclástico por la actividad volcánica que ha formado este grupo.</li> </ul>

*Fuente. Marsa 2014*

### 2.4.2.2. Litología:

Los estudios realizados por la empresa MARSА 2014 sobre la litología de la zona de Llacuabamba, afirma que la zona está formada por rocas intrusivas, formando estructuras bien definidas, influenciadas por el Batolito de Pataz, curiosamente los mejores yacimientos de minerales se encuentran distribuidas en varias partes en el sector de Llacuabamba y Parcoy. En las zonas donde predominan las filitas, se incrementa la presencia de yacimientos de cobre y disminuye la presencia de yacimientos de oro.

Según la carta geológica nacional la litología en el Batolito de Pataz, se presenta; Adamelita, Granodiorita y Tonalita; y en el Batolito de Parcoy existen; Granitos rojos, Granodiorita y Tonalita; la litología es de rocas metamórficas y filitas del complejo Marañón.

Cuadro 9  
Unidades Geológicas de la Zona de Llacuabamba

ERA	SISTEMA	UNIDADES GEOLÓGICAS	CÓDIGO	ÁREA	
				HA	%
Cenozoico	Cuaternario	Depósitos Fluvio Glaciares	Q-fl	115,036	6,835
		Depósitos Glaciares	Q-gl	1 322,464	78,574
		Grupo Mitú	Ps-m	245,577	14,591
<b>TOTAL</b>				<b>1 683,077</b>	<b>100,00</b>

*Fuente. Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Adecuación de la Red de Vertimientos y Efluentes de la U.E.A. Retamas, a los ECA y LMP. MARSА. 2015.*

### 2.4.2.3. Geoquímica:

La geoquímica tiene una alta importancia en los estudios de los suelos, porque nos sirve para conocer el contenido de las principales litologías de una zona, que permitirá encontrar la presencia de elementos químicos en diferentes estratos de los suelos, los cuales se determinan por diferentes índices de acumulación edáfica y que se han desarrollado a partir de las litologías de la roca madre, y que su distribución en

el suelo está determinada por reacciones físico-químicas en diferentes etapas de la evolución del suelo.

En la zona de estudio se cuenta con la información geoquímica realizada por la empresa minera MARSA, que está orientada sobre todo analizar los residuos de material del minado, y que llegan a la conclusión que no generan drenaje ácido. Llegan a esta afirmación como resultados de las pruebas realizadas a la composición mineralógica de la roca, formada por su mayoría por la abundancia de cuarzo, y menos cantidades la pirita aurífera, calcopirita, galena y esfalerita.

Así mismo afirman que en las pruebas de lixiviación de los sectores donde realizan extracción de minerales el potencial de lixiviación de metales, los resultados fueron valores de promedio 8 pH no causando la liberación de metales que puedan afectar al suelo. Es importante conocer las sustancias o metales pesados que se encuentran en el contenido litológico que son constituyentes naturales y que pueden ser lixiviado y transportados y acumulados en el suelo, o distribuidos a través de los ciclos biogeoquímicos.

En las zonas mineralizadas sin la existencia de mina los contenidos de metales en el suelo en algunos casos están relacionados a los contenidos del material que forma la roca madre, su distribución en el suelo, y luego en el agua y aire depende de las formas disponibles y las condiciones de los factores del medio físico. Geoquímicamente un elemento introducido en el suelo puede encontrarse de las formas siguientes: Disuelto en la parte soluble del suelo, retenido en posiciones de intercambio entre compuestos orgánicos e inorgánicos, incluido dentro de los minerales de los suelos formando compuestos o no, precipitado independientemente o con otros compuestos del suelo, incorporado a la materia orgánica.

Cuadro 10  
Resultados de pruebas SPLP de materiales de nueve depósitos de desmontes

Parámetros	La Virtud	Las Chilcas	Compósito	Límite TLPC
pH	8,3	8,4	8,3	
Conductividad	109	97	127	
Potencial Redox	190	196	191	
Sulfatos (mg/L)	27,31	20,38	16,44	
Cu (mg/L)	0,0019	0,0016	0,0028	
Pb (mg/L)	0,001	0,0209	0,0002	5,0
Zn (mg/L)	0,0090	0,109	0,0093	
Fe (mg/L)	0,301	0,258	0,168	
Mn (mg/L)	0,0462	0,0694	0,0371	
Cd (mg/L)	0,0001	0,0001	0,0001	1,0
As (mg/L)	0,0312	0,0320	0,0855	5,0
Hg (mg/L)	0,25	0,21	1,24	200

Fuente. *Análisis de Estabilidad Geoquímica de MARSÁ. 2015*

### 2.4.3. Hidrología:

La hidrología estudia de la distribución y circulación del agua en sus diferentes estados físicos en la parte continental, comprende el agua en la superficie de la tierra, formando ríos, lagos, humedales, pantanos, en el suelo y en la atmosfera. El agua es importante en la configuración del territorio y que nos permite su descripción y clasificación a nivel de las cuencas hidrográficas, que están determinadas y reguladas por la cantidad, calidad y oportunidad del recurso. Teniendo un efecto importante en la configuración del medio físico, y referente a la calidad está regulada por los parámetros y características presentes en el agua.

Una clasificación, muy natural y consistente, es atender a las cuencas hidrográficas, definidas como el área circundante que aporta aguas y sedimentos a un cauce en una sección dada, también como un conjunto de formas topográficas, sistema morfológico, asociadas a una red de drenaje, sistema de flujo. (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2004). Comprender la extensión y clasificación de la cuenca hidrográfica es importante determinar la cantidad y calidad del recurso agua existente en un determinado territorio que abarca y está en el territorio que comprende la cuenca hidrográfica.

Existe otras definiciones de cuencas hidrográficas entre las más usadas tenemos la que define como la unidad de territorio, y cuyo limite la constituye la divisoria topográfica, que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector principal (Vásquez, 2000). Su importancia es que comprende el área del territorio, definida por el aporte de aguas y sedimentos a un cauce principal, denominado río conformada por un conjunto de formas topográficas, sistemas morfológicos, todas unidas a una red de drenaje y resultando un sistema de flujo, que define el medio físico y condicionado por la abundancia y por las propiedades físico-químicas y biológicas presentes en el agua.

La ubicación Hidrográfica; De acuerdo con las unidades hidrográficas del Perú aprobadas por el ANA, el área de estudio se localiza en la región hidrográfica del Amazonas (Vertiente del Atlántico), Intercuenca Alto Marañón. Las microcuencas del río Ventanas, La Paccha y la Castilla, son afluentes al río Llacuabamba, este a su vez al río Parcoy el mismo que descarga en el río San Diego, el cual desemboca en la Laguna Pías y está en el río Marañón (Ingeniería Hidráulica, SAC. 2016)

Por su localización geográfica la comunidad de Llacuabamba se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Marañón, encontrándose la microcuenca que lleva el mismo nombre de la comunidad, y que está formada por las quebradas Ventanas que recibe el aporte por desbroce y escurrimiento de laguna Negra y del área formada por Tres Laguna, al lado derecho de la microcuenca se ubica la quebrada Mush Mush y quebrada Blanca que tiene su origen en el embalse Laguna Blanca, recibiendo aportes de la quebrada Porvenir, ambas se unen y conforma la quebrada Shucaque que confluye con quebradas Ventanas y forman en río Llacuabamba. En esta zona se colecta el agua de lluvia y se origina descargas aguas abajo que se incrementa en mayor volumen en los meses de diciembre a abril.

La cuenca del río Llacuabamba según la clasificación de Way (1978) que sirve para clasificar las cuencas hidrográficas y está basado en la densidad, textura y forma, todos estos elementos que se pueden observar mediante la fotointerpretación a escala 1:20,000 y que distingue 14 tipos de cuencas superficiales, tres de tipos especiales de drenaje la cuenca del área de estudio corresponde a una cuenca de textura gruesa que

son aquellas en las que el espaciamiento medio entre tributarios y corrientes de primer orden es menor de 0.60cm en la fotografía aérea.

La quebrada Mush Mush nace en la Laguna Blanca y Mush Mush toda esta área es resultado de la actividad fluvio-glaciaria, tiene un área de 2,68 km<sup>2</sup>, con 18,1% de pendiente promedio, mientras que la microcuenca de Laguna Blanca el área es de 1,88 Km<sup>2</sup>, con 22,5% de pendiente promedio, su abastecimiento es por captación de la precipitación pluvial, escorrentías superficiales y su descarga alimenta la quebrada Mush Mush, Laguna Blanca se considera un embalse porque han construido un dique de enrocado para regular la salida del flujo de agua, el caudal de la quebrada Mush Mush varía en la época de los meses de precipitación de verano el caudal sobrepasa 1m<sup>3</sup>/s en la época de estiaje su caudal no supera los 60 L/s.

La comunidad campesina de Llacuabamba tiene una buena oferta hídrica que no aprovecha eficientemente desperdiciándose el recurso agua, por la falta de una adecuada infraestructura de captación y distribución del agua con fines de uso poblacional y de riego. Las fuentes de agua que abastecen al centro poblado de Llacuabamba provienen de la quebrada La Paccha y La Castilla que abastecen a los cinco barrios que se divide el pueblo han venido abasteciendo al pueblo durante 15 años, cuenta con un sistema de agua potable formado por la captación ubicado en la parte alta de las quebradas, contando con dos reservorios llamados Miraflores y Llacuabamba. A partir del año 2017 cuenta con una nueva fuente de captación en la quebrada Ventanas construido por minera MARSA, en acuerdo con la comunidad de Llacuabamba.

El Ministerio de Salud DIGESA y DIRESA de la Región La Libertad tienen a su cargo la vigilancia de la calidad de agua superficial sobre todo la que es usada para consumo humano, y clasifica de acuerdo a las actividades desarrolladas en los cursos de los ríos, la clasificación otorgada por el ANA a los ríos de Parcoy, Llacuabamba y San Miguel es de Clase III agua para riego de vegetales crudos y bebidas de animales. La calidad encontrada en el año 2007, que emite un informe sobre la evaluación del riesgo a la salud, referente al arsénico en las estaciones llamada QM 2, quebrada Mush Mush, ubicada 10 metros agua arriba del puente en Llacuabamba y en la estación RLL-5 (ubicada al frente del pueblo de Llacuabamba), hasta la RP - 11 que

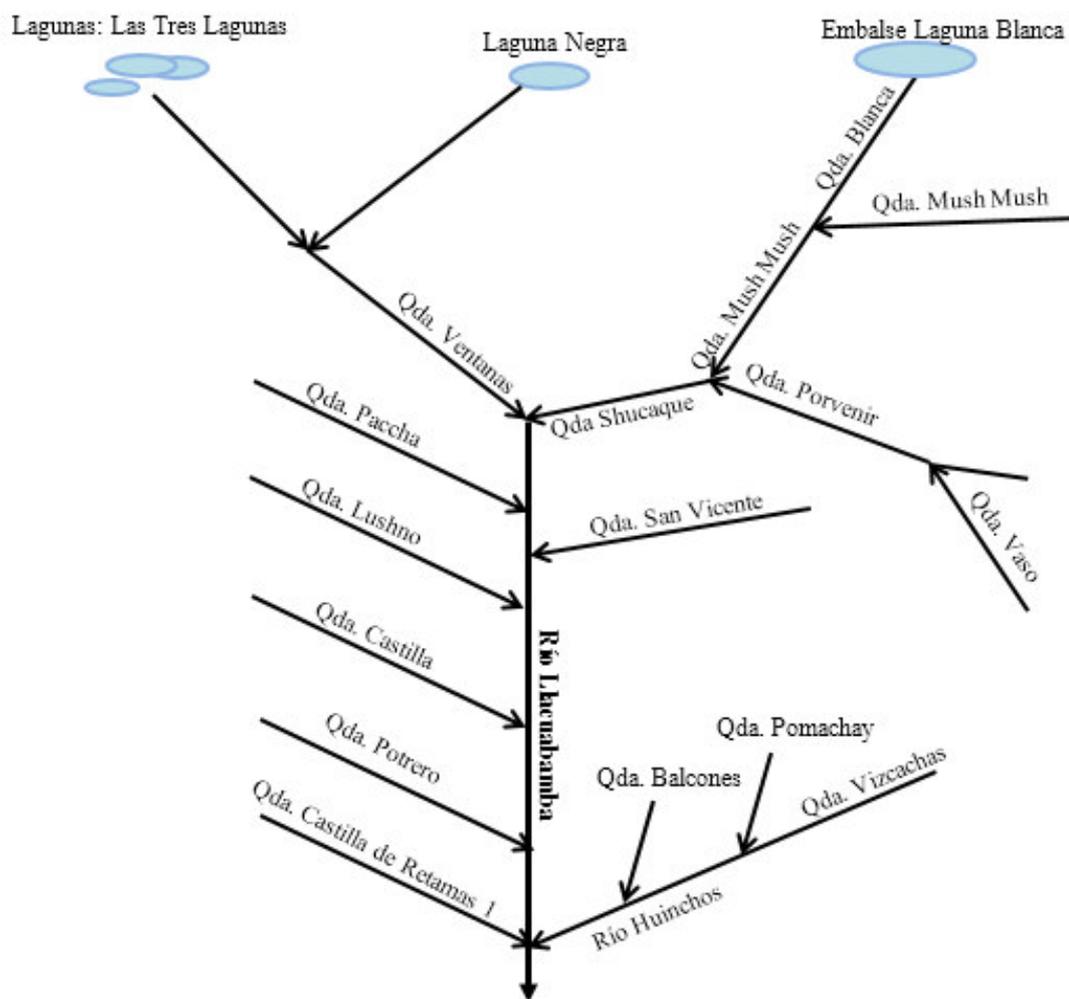
comprende todo el recorrido del río Llacuabamba, hasta el río Parcoy se encuentra las aguas contaminadas por arsénico.

En el informe de calidad de agua de DIGESA se refiere a que existe contaminación por arsénico en las estaciones de monitoreo RLL-6, RP-7, RP-8, RP-9, RP-10 y RP11 porque las concentraciones sobrepasan el valor límite establecido en la Ley General de Aguas para la Clase VI para el arsénico, esta zona corresponde a Laguna Blanca y río San Miguel, en el resto de los puntos de monitoreo los resultados están por debajo del estándar nacional vigente en ese año.

En el año 2016 se realizó el estudio Evaluación de Fuentes Naturales de Agua en las Quebradas Ventanas, Tres Lagunas, La Castilla y Quebrada La Paccha y Elaboración de Expediente Técnico de Abastecimiento de Agua Potable para la Comunidad de Llacuabamba, referente a la calidad de agua usado los Estándares Nacionales de Calidad para Agua, especificado en los parámetros y estándares en el D.S. N° 015-2015 vigentes en ese año, tomaron en cuenta la categoría 1 y subcategoría A que corresponde a aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, el estudio señala lo siguiente:

- En la zona de Tres Laguna encontraron que el mercurio excede la categoría de ECA para agua potable, existencia de parásitos y Escherichia coli.
- En la quebrada La Castilla mercurio supera el límite establecido para la sub categoría A3, también presentaba cadmio y plomo que sobrepasaron los límites establecidos para la categoría A2, en los parámetros orgánicos encontraron formas parasitarias y Escherichia coli.
- En la quebrada de la Paccha presenta valores de los elementos como: Cadmio, mercurio, plomo, coliformes Totales, formas parasitarias y Escherichia coli, estando en un rango de agua categoría A2.
- En la quebrada Ventanas presenta mejores condiciones que las otras cuatro quebradas monitoreadas, el valor de mercurio está por debajo en los efluentes de las otras quebradas, como una categoría A1. En los orgánicos tiene contenido de Coliformes Totales, formas parasitarias y Escherichia coli la caracterizan como agua de clase A2.

- El estudio concluye que las mejores condiciones de calidad de agua son de la quebrada Ventanas, pero para su consumo humano tiene que realizarse un tratamiento convencional de potabilización.

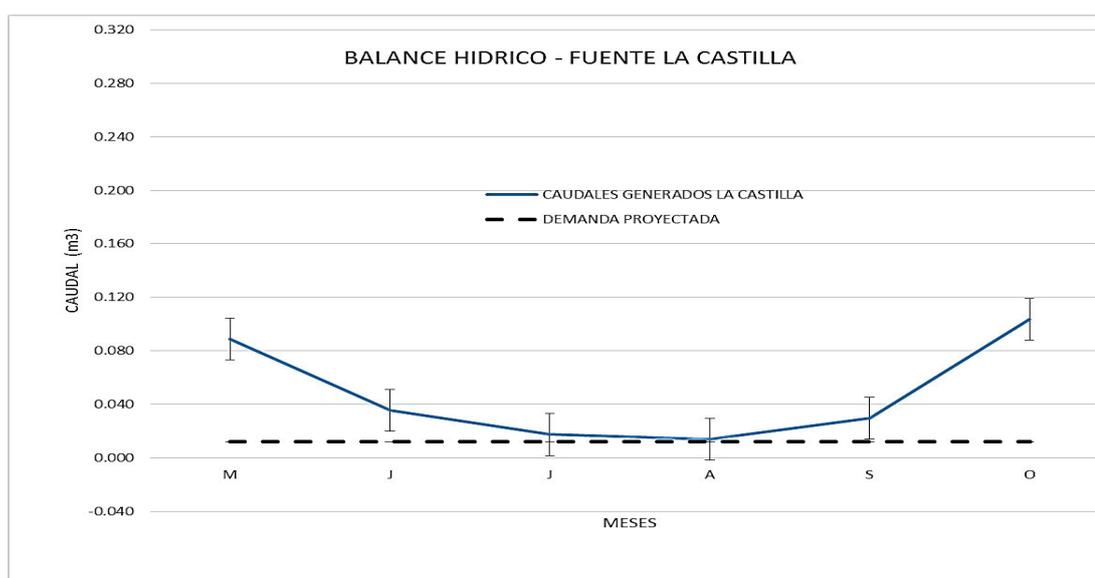


**Figura 8. Grafica del Río Llacuabamba. Fuente. Estudio Hidrogeológico Integral de la U.E.A. Retamas. Año 2015.**

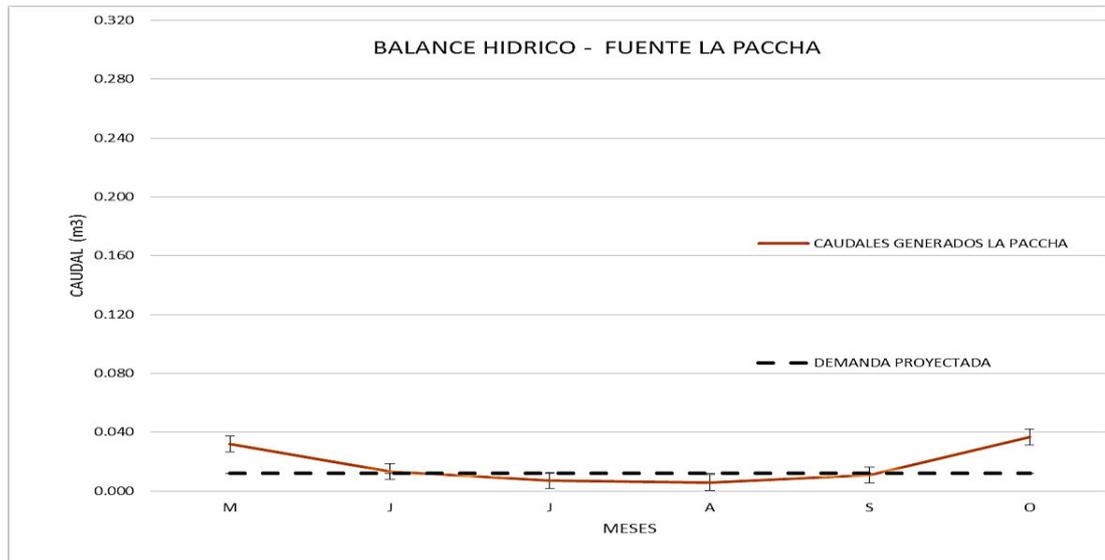
El balance hídrico que se deriva del concepto del balance de la materia, este término fue utilizado por Thornthwaite que se refirió al balance de los aportes de agua por precipitación de lluvia, nieve o granizo y su salida por evapotranspiración, recargar subterráneas y la escorrentía o corrientes superficiales en una cuenca hidrográfica o un determinado perfil del suelo. En conclusión, el balance hídrico es la relación entre la demanda total de agua de una cuenca y la oferta de agua en el tiempo; siendo

importante en su elaboración determina la oferta de agua basada en un caudal medio mensual y la demanda del agua usada en todos sus posibles usos.

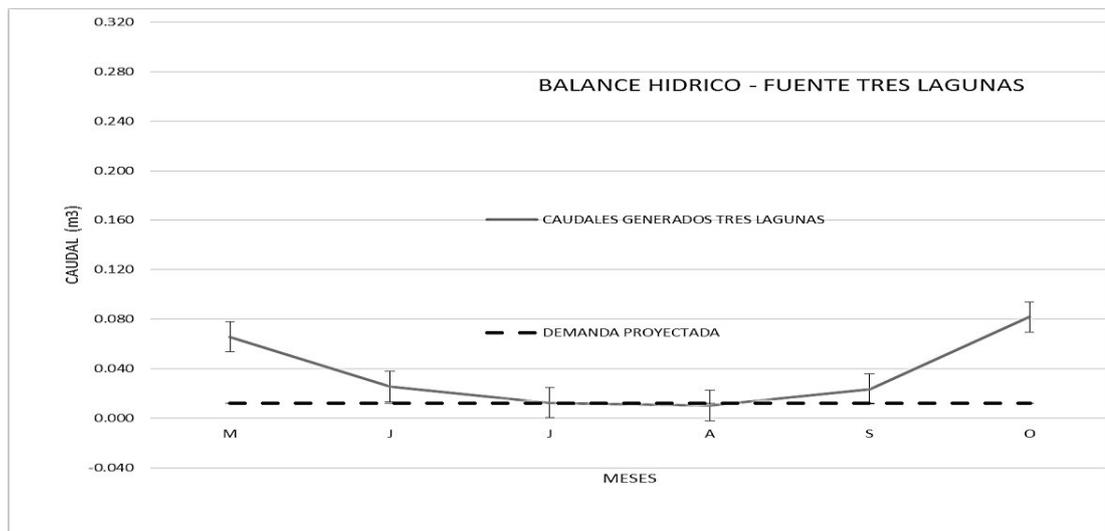
A continuación, se presenta los balances hídricos de las quebradas más importantes del territorio de la comunidad de Llacuabamba que son: La Castilla, La Paccha, Tres Laguna, Ventanas Coriguarme y el gráfico comparativo de la oferta versus la demanda que corresponde al Estudio de Evaluación de Fuentes Naturales de Agua en las Quebradas Ventanas, Tres Lagunas, La Castilla y Quebrada La Paccha, elaborado por Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC, en el año 2016 y que tenía como objetivo realizar el estudio hidrológico a fin de conocer el potencial hídrico de las fuentes agua para abastecimiento poblacional de la comunidad de Llacuabamba.



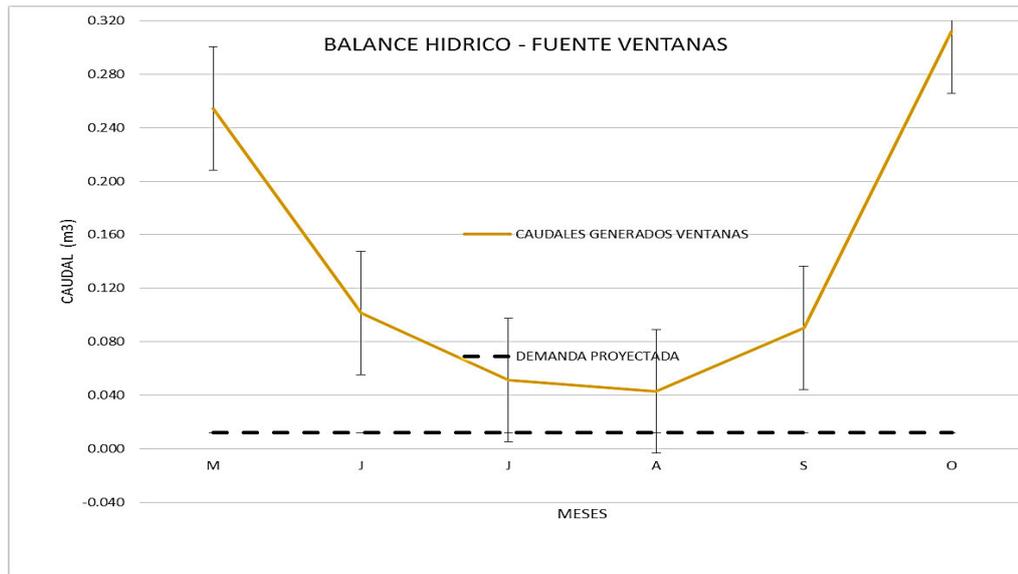
**Figura 9. Balance Hídrico de la Fuente de Agua La Castilla. Fuente. Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016**



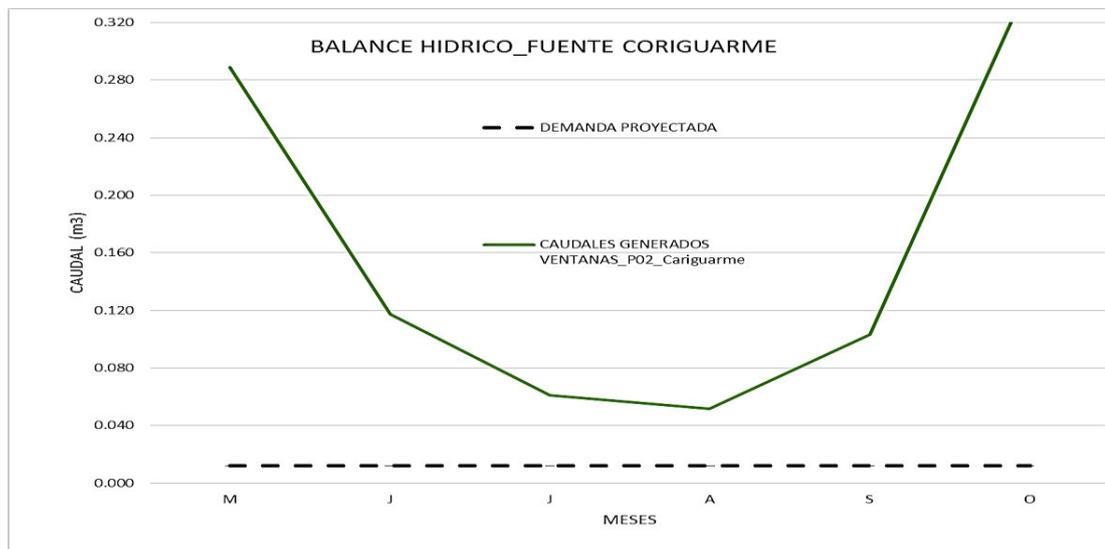
**Figura 10. Balance Hídrico de la Fuente de Agua La Paccha. Fuente: Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016**



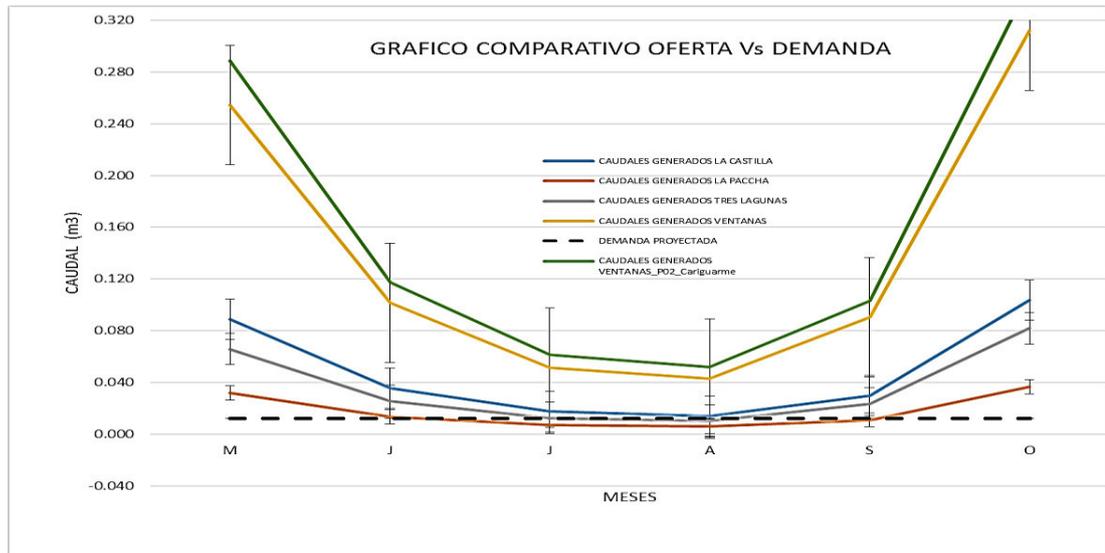
**Figura 11. Balance Hídrico de la Fuente de Agua Tres Laguna. Fuente: Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016**



**Figura 12. Balance Hídrico de la Fuente Ventanas.** Fuente. Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016



**Figura 13. Balance Hídrico de la Fuente Coriguarme.** Fuente. Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016



**Figura 14. Gráfico Comparativo oferta Vs Demanda. Fuente. Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC. 2016**

Cuadro 11  
Principales Características de los Cuerpos de Agua Superficial Inventariados

Zona	Fuente De Agua	Código	Asociación Geológica	Caudal		Uso Del Agua	Detalle
				Estiaje (2015)	Lluvia (2014)		
Quebrada Blanca	Qda. Laguna	HG-1	--	0.8	21	Ninguno	Proviene de todos los manantiales
	Qda. Tributaria	HG-200	Depósito Coluvial	0.2	27.7	Ninguno	Nace en parte alta producto de manantiales.
	Qda. Tributaria	HG-201	Depósito Coluvial	0.4	14.3	Ninguno	Nace en parte alta producto de manantiales.
Quebrada Mush Mush	Qda Mush Mush (parte baja)	HG-35	Complejo del Marañon	19	319	Ninguno	Nace de la unión de las quebradas Laguna Blanca y Mush Mush (parte alta). Alimenta a la Qda Porvenir.
	Qda Mush Mush 1 (parte baja)	HG-214	Depósitos Fluvioglaciares	0,23	37	Ninguno	Nace en la parte alta del cerro, producto de la escorrentía y de manantiales. Su flujo alimenta a la Qda Mush Mush (flujo principal).
	Qda Mush Mush 2	HG-220	Complejo del Marañon	0,3	16	Ninguno	Nace en la falda del cerro, producto de manantiales (polisurgencias). Su flujo alimenta a bofedal y luego a Qda Mush Mush (Flujo Principal).
	Qda Mush Mush 4	HG-223	Complejo del Marañon	0,003	3,2	Ninguno	Nace en la parte alta del cerro, producto de escorrentía u de manantiales. Su flujo alimenta al bofedal y luego a la Qda. Mush Mush (Flujo principal).
	Qda Mush Mush 5	HG-225	Depósito Coluvial	0,06	0,8	Ninguno	Nace en la parte alta del cerro, producto de la escorrentía y de manantiales. Su flujo alimenta a un bofedal y luego a la Qda

	Qda Mush Mush 7	HG-228	Depósito Fluvioglaciario	0,13	19	Ninguno	Mush Mush (Flujo Principal). Nace en la parte alta del cerro como producto de la escorrentía y de manantiales. SU flujo alimenta a un bofedal y luego a la Qda Mush Mush (Flujo principal).
	Qda Mush Mush 3	HG-245	Complejo del Marañón	0,04	--	Ninguno	Nace en la falda del cerro, producto de manantiales. Su flujo alimenta a bofedal y luego a la Qda Mush Mush (Flujo Principal).
	Qda Mush Mush 8	HG-246	Depósito Coluvial	0,5	--	Ninguno	Nace en la parte alta del cerro como producto de la escorrentía y de manantiales. Su flujo es el principal aporte de la Qda. Mush Mush.
	Qda Mush Mush (parte alta)	HG-248	Depósito Coluvial	18	--	Ninguno	Flujo Principal, proviene de los flujos y manantiales de la parte alta.
Quebrada Vaso	Qda. Tributaria	HG-60	Depósito Fluvioglaciario	2,1	54,4	Poblacional	Nace en la parte alta de la Qda Vaso. Su flujo es captado para uso poblacional.
	Qda. Tributaria	HG-241	Depósitos Fluvioglaciares	0,45	3,5	Ninguno	Nace en la falda del cerro como producto del rebose de las dos captaciones HG- 229 y 240, el cual forma un pequeño flujo que alimenta a la Qda Molinetes.
	Qda. Tributaria	HG-249	Complejo del Marañón	0,8	--	Poblacional	Nace en la alta de la Qda Vaso. Su flujo es captado para uso poblacional.
Quebrada Molinetes	Qda Molinetes	HG-242	Depósito Fluvioglaciario	0,65	42	Ninguno	Flujo principal que proviene de todos los manantiales.

Quebrada Porvenir	Qda Porvenir	HG-25	Complejo del Marañon	4,2	198	Ninguno	--
	Qda. Tributaria	HG-262	Complejo del Marañon	1	--	Ninguno	Pequeño flujo que proviene de la parte alta del cerro, y alimenta a la Qda Porvenir.
	Qda. Tributaria	HG-33	Complejo del Marañon	3,9	7	Ninguno	Su flujo alimenta a la Qda Porvenir en su parte media. Nace en la falda del cerro como producto de la escorrentía.
	Qda. Tributaria	HG-34	Complejo del Marañon	0,025	0,4	Ninguno	Su flujo alimenta a la Qda Porvenir en su parte media. Nace en la falda del cerro y es producto de la escorrentía.
Quebrada Shucaque	Qda Shucaque	HG-36	Batolito de Pataz - Granodioritas y Monzogranitos	64	727	Ninguno	Flujo que alimenta al río Llacuabamba parte alta.
Quebrada San Vicente	Qda San Vicente	HG-45	Batolito de Pataz - Granodioritas y Monzogranitos	0,12	13,5	Ninguno	Antes de llegar al Río Llacuabamba.
Quebrada Pomachay	Qda. Pomachay	HG-16	Depósitos Fluviales	1,3	10,7	Ninguno	Flujo principal. Alimenta al Río Huincos.
	Qda Pomachay 1	HG-48	Depósitos Fluviales	0,2	30	Ninguno	Flujo proviene de HG-271, 272 Y 273.
Quebrada Vizcachas	Qda Pomachay 2	HG-277	Depósitos Fluviales	0,9	--	Ninguno	Flujo proviene de HG-9 y 270.
	Qda tributaria	HG-116	Batolito de Pataz - Granodioritas y Monzogranitos	0,9	7,2	Ninguno	Nace en la parte alta de la quebrada, producto de polisurgencias. Inicio de flujo principal.
	Qda Vizcachas	HG-137	Batolito de Pataz - Granodioritas y Monzogranitos	20	49	Ninguno	Cerca de pequeña toma, flujo provisional
	Qda tributaria	HG-156	Formación Chota	1,2	7	Ninguno	Nace en la falda del cerro, margen derecha, alimenta al flujo HG-280.
	Qda Vizcachas (parte baja)	HG-193	Formación Chota	1,3	220	Ninguno	Flujo que proviene desde la parte alta.

	Qda tributaria	HG-280	Formación Chota	18	--	Ninguno	Alimenta al río Huinchos. Su flujo es captado desde la Qda Vizcachas para uso agrícola
Quebrada Ventanas	Qda. Ventanas	HG-37	Depósitos Aluviales	72,4	795	Ninguno	Flujo que alimenta al río Llacuabamba parte media. Nace de pequeñas quebradas y manantiales
Quebrada Castilla	Qda Castilla	HG-42	Depósitos Aluviales	4,9	495	Ninguno	Flujo que alimenta al río Llacuabamba parte media. Nace de la laguna en la parte alta de los cerros.
Quebrada Potrero	Qda Potrero	HG-43	Depósitos Aluviales	0,55	12	Ninguno	Flujo que alimenta al río Llacuabamba parte baja.
Río Llacuabamba	Río Llacuabamba (parte alta)	HG-71	Depósitos Aluviales	89	1 530	Ninguno	Después de confluencia de Qda Ventanas y Molinetes.
	Río Llacuabamba (parte baja)	HG-74	Depósitos Aluviales	313	3 910	Ninguno	Después de la descarga de la Planta R2
	Río Llacuabamba (parte media)	HG-196	Depósitos Aluviales	124	460	Ninguno	Antes de las descargas del pueblo de Llacuabamba
	Río Llacuabamba (parte media)	HG-264	Depósitos Aluviales	110	--	Ninguno	Después del aporte de la PTAR de aguas de mina y de la Qda. San Vicente
Laguna San Diego	Laguna San Diego (La Gringa)	HG-255	Batolito de Pataz - Granodioritas y Monzogranitos	0,2	--	Ninguno	Es alimentada por el punto hg-256. Su descarga alimenta a la Quebrada Molinetes

Fuente. *Estudio Hidrogeológico Integral de la U.E.A. Retamas, 2015.*

#### 2.4.3.1. Hidrogeología:

La hidrogeología que es el estudio de las aguas subterráneas, y que forma parte del ciclo hidrológico resultado de la infiltración y el escurrimiento subterráneo, entre otras características geológicas, físicas y químicas determinan el volumen al interior

del subsuelo de agua subterránea, donde es importante el agua de lluvia. Las precipitaciones que llegan a la superficie tienen tres opciones, una parte discurre formando el agua superficial que, al juntarse las moléculas del agua, la segunda opción es que una parte de esa lluvia se infiltra en el subsuelo y escurre como agua subterránea y la restante se evapora (Werner, J. 1996). Sin embargo existen otros factores importantes el tipo y perfiles del suelo que pueden facilitar la infiltración, e índice de evaporación regulado por la temperatura ambiental, el tipo de roca, el relieve del terreno entre los principales factores, que van a favorecer la formación de la existencia de agua subterránea, esto es conocido desde que se descubrió el ciclo hidrológico en el siglo XVII por los científicos franceses Perrault y Mariotte, desde esa época a la actualidad la ciencia de la tierra ha avanzado mucho en el estudio hidrogeológico del sub suelo.

Minera Aurífera Retamas S.A. realizó un estudio hidrogeológico en el año 2015 donde señala que el relieve es abrupto, con quebradas, ríos encañonados y laderas pronunciadas con fuertes pendientes de hasta 50%, y que la dirección del agua es de sur este a noroeste; además el estudio consideró el método geofísico para obtener información del subsuelo, utilizando sondajes eléctricos verticales, que consiste en la medición de resistividad eléctrica a profundidades variables del subsuelo en sentido vertical utilizando un equipo instrumental Georesistivímetro, el estudio estaba enfocado en la caracterización del componente litológico del subsuelo para identificar aquellos estratos con tenencia de parámetros hidráulicos permeable, llegando a las conclusiones principales que son las siguientes:

- La existencia de formaciones geológicas correspondientes a rocas complejas del Marañón, Intrusivo Pataz y Depósitos Cuaternarios.
- Estudio Geofísico para la caracterización de condiciones hidrogeológica en áreas locales, se realizó en método de Sondajes Eléctricos verticales cuyos parámetros interpretados permitió determinar la probable morfología y estructura litológica del subsuelo.
- Se registran la presencia de estructuras subterráneas de simulaciones conformaciones diferenciándose solo por sus valores de resistividad y la geometría en la disposición de estratos.

- El modelo de la caracterización hidrogeológica local en las áreas de estudio está determinado por estratos de depósitos cuaternarios y estructura de roca fracturada de las formaciones geológicas del complejo del marañón e intrusivo Pataz.

La hidrogeología de la zona de la comunidad de Llacuabamba está comprendida por seis unidades hidroestratigráficas, que se basa en su capacidad para transmitir el agua, las unidades se señalan en el cuadro siguiente:

Cuadro 12  
Unidades Hidroestratigráficas

SISTEMA ACUÍFERO	CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS
<b>A. Sedimentos y rocas con flujo</b>		
A2	Acuíferos de mediana productividad, conductividad hidráulica media	Acuíferos continuos locales, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvioglaciario. Acuíferos libres.
A3	Acuíferos de baja productividad, conductividad hidráulica media a baja	Acuíferos locales, formados por sedimentos. Acuíferos libres.
<b>B. Rocas con flujo a través de fracturas</b>		
B2	Acuíferos de mediana productividad, conductividad hidráulica media	Acuífero discontinuo de extensión regional, de media profundidad, conformado por rocas sedimentarias clásticas consolidadas y carbonatadas con carstificación de ambiente transicional a marino. Acuíferos libres y confinados
<b>C. Sedimentos y rocas con limitado de agua subterránea</b>		
C1	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja	Material sedimentario de origen continental o marino, poco o muy consolidadas, de ambiente lacustre, deltaico o marino. Rocas volcánicas efusivas con moderado a bajo fracturamiento.
C2	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja	Complejo de rocas ígneas y/o metamórficas, muy compactas y en ocasiones fracturadas

Fuente. *Estudio Hidrogeológico de Minera Aurífera Retamas S.A. 2015.*

#### 2.4.4. Geomorfología:

La geomorfología es importante para el estudio de los suelos, por ser la ciencia que se encarga del estudio de la descripción del relieve, que forma parte de la geografía física, y que nos permite identificar, y describir los tipos de formas de relieve, su origen y evolución para entender y explicar el relieve actual.

La unidad morfológica territorial y que en los países anglosajones denominan “Land Form” es equivalente a la unidad morfológica territorial, que presentan características diferentes determinadas por la topografía, litología, propiedades del suelo y aguas subterráneas. El modelado de la superficie terrestre y las estructuras de las geoformas, nos indican los diferentes elementos y procesos que han existido y que han dado lugar al relieve de un territorio. Las geoformas del territorio han determinado la distribución y ocupación del suelo.

El relieve resultado de los procesos geográficos y geológicos tiene una influencia en los procesos de erosión, inundación, etc. Muchos de ellos influenciados por los factores climáticos y los no climáticos como la configuración del terreno, por ejemplo, la influencia de la Cordillera de los Andes Tropicales, que regula el régimen pluvial, causa el ascenso de las masas de aire, la dirección de los vientos, como los vientos alisios y contralisios en la parte sur del continente americano, como en su largo trayecto de latitud y altitud se encuentra climas o microclimas muy particulares que determinan diferentes tipos de suelos y ecosistemas de alto valor de biodiversidad.

La geomorfología y la edafología tienen una relación, donde el factor tiempo cumple un papel importante para determinar las propiedades y estructuras del relieve y la composición que presenta el suelo, que es resultado de factores litológicos climáticos y geomorfológicos que debemos analizar para conocer sus génesis, el relieve sobre donde se ha formado el suelo, porque el relieve por su configuración va a determinar el perfil, la profundidad y la estructura del suelo, los mapas geomorfológicos constituyen una gran ayuda para la realización de mapas edafológicos (Tricart, 1969), manifestó que el principio consiste en efectuar primero, un levantamiento geomorfológico de las unidades en las que se desarrolla la edafogénesis y luego hacer un levantamiento edafológico que es fundamental para un estudio estructural y morfológico de los suelos.

Mediante el estudio de la Geomorfología se puede determinar la textura, composición del suelo, el accionar de los procesos físicos en éstas dos propiedades, que se son parte del resultado de la alteración y transporte, y que por acción climática y características geomorfológicas promueven el traslado y depósito de los materiales, condicionando las características del suelo. Marsh en 1978 explicó la relación entre la

inclinación de la pendiente, que favorece la erosión, depósito y textura resultante del suelo, y el tipo geomorfológico, tal como se explica en el cuadro N° 13.

Cuadro 13.

Relación Entre el Grado de Pendiente y el Tipo Geomorfológico

<b>Pendiente en grados</b>	<b>Proceso de erosión – depósito</b>	<b>Textura del suelo</b>	<b>Tipo geomorfológico</b>
60° a 90°	Alteración atmosférica. Movimiento de masas (desprendimiento y deslizamientos de rocas).	Ninguna se encuentra roca madre compacta.	Cuesta, escarpe y risco.
20° a 40°	Depósitos de rocas.	Muy gruesa.	Taludes y desmoronamiento.
5° a 10°	Escorrentía, depósitos de rocas.	Gruesa con mezcla de arena, limo y arcilla.	Pie de ladera o terraza.
0° a 5°	Depósitos Fluviales	Arcillas, limos, arenas con partículas mayores.	Llanuras de inundación.

Fuente. *Marsh, 1978.*

El modelamiento terrestre es sin duda en gran parte del resultado de la relación que existe entre la geología, geomorfología, e hidrología, que dan como resultados diferentes tipos de paisajes resultados de su accionar y de los procesos del medio que se producen en un determinado espacio geográfico.

En el territorio de la comunidad campesina de Llacuabamba el relieve presenta fuertes pendientes, leves y abruptas, los valles son resultado de la actividad glacial y fluvial y que han formado profundas quebradas, donde el tipo de roca principal es de origen volcánico. La zona es predominantemente montañosa con laderas empinadas siendo una zona cerca al límite máximo de las divisorias de agua, y zona de transición a la ceja de selva, presentando puntos altos entre los 4,000 a 4,800 m.s.n.m. encontrándose los relieves siguientes:

Cuadro 14  
Características del Relieve de la Comunidad de Llacuabamba

<b>RELIEVE</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>CORDILLERAS</b>	No se ubica en un relieve de montaña, sino entre las cadenas montañosas que forman la cordillera occidental y oriental del Norte del Perú.
<b>MONTAÑAS</b>	Esta clasificación corresponde a la zona donde se desarrollan las diferentes actividades mineras.
<b>MESETAS</b>	No se presentan relieves de mesetas, dado que la topografía no permite la formación de amplias áreas planas.
<b>CAÑONES</b>	Se presentan quebradas angostas típicas como cañones (El Porvenir y Mush Mush)
<b>ABRAS</b>	Se presentan relieves que son considerados como Abras en la parte alta de la quebrada Molinetes.
<b>VALLES INTERNADINOS</b>	Se presentan relieves considerados como valles interandinos. (Se encuentra en las partes bajas de la comunidad).

*Fuente. ITS Proyecto de Ampliación de la Planta de Beneficio San Andrés Ampliado y Cambio de Ruta de Transporte de Relave. 2016.*

Las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio se detallan en el cuadro siguiente:

Cuadro 15  
Unidades Geomorfológicas del Área de Estudio

UNIDAD	SUB - UNIDAD	SÍMBOLO	DETALLE	UBICACIÓN
Valles	Valle Fluvial	Va	Valles que presentan flancos con pendientes moderadas, con aspecto de Valle maduro en algunas zonas.	Se presenta en las partes más bajas de la Quebrada Llacuabamba.
	Valle Estrecho Inundable	Vb	Valles juveniles con laderas empinadas, angostas y profundas, con riveras propensas a inundaciones en época de precipitación. En algunos sectores los flancos de los valles presentan cicatrices de deslizamientos, dando lugar a valles maduros.	Se presentan en la parte más angosta y altas de las quebradas Mush Mush, Molinetes y Porvenir.
Altiplano o Superficie de Puna	Valle Glaciar	Vc	Valle en el que circulan o ha circulado un glaciar de dimensiones importantes.	Se presentan en la parte alta de la microcuenca Laguna Blanca.
	Lomadas o Colinas	Aa	Colinas de superficie redondeada (afloramiento rocoso) de moderada a gran elevación. Disectadas por valles glaciares o fluviales de profundidad variable, con numerosos derrumbes en sus flancos, en cuya parte baja se ubican los bofedales, césped de puna. En la parte alta y media, los pajonales y pastizales.	Se posiciona en la parte más central del emplazamiento, donde se ubican los cerros Negro, Alto Blanco, Alto Chúcaro, Mush – Mush, Alto de Paccha, Vizcachas, Gigante y Santa Mónica.
	Cubetas y/o Depresiones	Ac	Depresiones topográficas con o sin avenamiento hacia el exterior, formadas por glaciaciones o tectonismo propio del altiplano peruano.	Se posiciona al sur y aguas arriba de las instalaciones minero – metalúrgicas en la microcuenca Laguna Blanca.

Fuente. *Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Adecuación de la Red de Vertimientos y Efluentes de la U.E.A. Retamas, a los ECA y LMP. 2015.*

En las unidades fisiográficas que se encuentran a nivel de paisaje de montaña se encuentran los subpaisajes montaña que son extremadamente empinado, y montañas ligeramente empinadas; en la categoría de colina son ligeramente empinadas; en la categoría de valle existe la zona de valle glacial ubicada en las parte altas y que son los lugares llamados: tres lagunas, laguna blanca, y el subpaisaje fluvial donde se

localiza el campamento de las Chilcas de la empresa MARSА y el lugar vecino donde se asienta el pueblo. A continuación, se muestran las unidades fisiográficas:

Cuadro 16.  
Unidades Fisiográficas

REGIÓN	ZONA	PROVINCIA FISIOGRAFICA	UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	PAISAJE	SUBPAISAJE	FASE POR PENDIENTE	CLAVE
Andina	Altoandina	Cordillera Andina	Superhúmedo	Relieve montañoso o y colinado	Montaña	Montaña extremadamente empinada	G	MEE
						Montaña moderadamente empinada	F	MME
						Montaña ligeramente empinada	E	MLE
			Perhúmedo	Colina	Colina ligeramente inclinada	C,D	CMI	
					Valle	Valle Glacial	B,C	VG
		Valle Fluvial	D	VF				

Fuente. *MARSА 2015*.

#### 2.4.5. Ecología:

La zona de estudio presenta ecosistemas importantes porque se encuentra en la transición con la ceja de selva, correspondiendo al territorio de amortiguamiento del Parque Nacional de Abiseo. Las zonas de vida que abarca el territorio de la comunidad son:

- Páramo muy húmedo – Subalpino Tropical (Pmh-Sat).
- Bosque muy húmedo – Montano Tropical (Bmh – MT)

Según la clasificación del mapa de zonas de vida correspondiente al Mapa Ecológico del Perú, que aún se cuenta vigente en nuestro país y que se usa para los diferentes estudios.

El concepto de las zonas de vida es de suma importancia en el estudio de la ecología de un territorio, porque en ellas encontramos el desarrollo y evolución de las

comunidades que deben existir en un periodo largo de tiempo, como los elementos bióticos y abióticos que se han desarrollado, con características muy particulares, que partieron de elementos biogeoquímicos, existentes en el suelo derivado de la descomposición de la roca, con acción del clima, cumpliendo un rol importante el agua como disolución y el transporte de los elementos, y formación de la vida y del paisaje. Donde la energía se distribuye en diferentes niveles del ecosistema, mediante el ciclo de materia que es movido por la energía, recibiendo la energía solar y sale en forma de calor, existiendo en el ecosistema relaciones de transferencia de energía en los diferentes niveles tróficos, siendo la materia que se transforma una fuente del desplazamiento de la energía, sucediendo reacciones de reducción y oxidación de toda forma de materia. La evolución del ecosistema ha pasado de tener comunidades simples a complejas, por la transformación de los elementos básicos, almacenando y liberando energía, siendo las zonas de vida subsistemas de interacción ecológica, donde se desarrollan los factores climáticos y no climáticos que dan lugar a la diversidad biológica.

El sistema de clasificación de las zonas de vida que se basa en rangos de temperatura, precipitación y humedad, con estos parámetros se definen asociaciones vegetales y ecosistemas que fue desarrollado por Leslie Holdridge, definiendo las zonas de vida como el conjunto natural de asociaciones, comprendiendo divisiones de los factores climáticos que son la temperatura, precipitación y humedad. El Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1985), fue elaborado teniendo como base el diagrama bioclimático de Holdridge.

Se encuentran las siguientes zonas de vida que son:

Páramo muy húmedo – Subalpino Tropical (Pmh-Sat); se extiende desde los 3,800 hasta los 4,300 msnm, cuenta con un clima perhúmedo frío, con temperatura media anual variable de 6 °C y 3 °C y precipitación pluvial total promedio anual entre 600 y 800 milímetros. La cobertura vegetal está constituida por pastos naturales, principalmente de las familias gramíneas; son tierras con aptitud para el pastoreo de camélidos americanos.

Bosque muy húmedo – Montano Tropical (Bmh – MT); es un territorio con aptitud para el pastoreo de camélidos americanos, la precipitación pluvial es alta, y la temperatura baja, la geomorfología del territorio es desfavorable, por la fuerte pendiente, esta zona de vida tiene limitaciones para el desarrollo ganadero, en algunos lugares conforma las cabeceras de cuenca que tiene un valor en el ciclo hidrológico, también presenta una fuerza escorrentía con un alto poder erosivo del suelo.

Cuadro 17  
Características de las Zonas de Vida.

Características	ZONA DE VIDA	
	Pmh-Sat: Páramo muy húmedo – subalpino tropical	Bmh-MT: Bosque muy húmedo montano tropical
<b>Área (HA) - %</b>	812.606 (48.281%)	870.468 (51.719%)
<b>Distribución</b>	– Franja Latitudinal Tropical del país	– Parte media del territorio.
<b>Ubicación en el AID</b>	– Zona más alta y fondo del valle de las quebradas Mush Mush, Alaska, Molinete, San Vicente entre los 3 900 a 4 500 m.s.n.m.	– Partes más altas de las quebradas Mush Mush, Alaska, Molinetes, y en las laderas de los cerros Gigante, Mush Mush, Pumas, Negro y Cabana entre los 2 800 a 3 800 m.s.n.m.
<b>Clima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Biotemperatura: media anual máxima de 6°C y mínima de 3.8°C.</li> <li>– Precipitación: máxima anual de 1 254.8 mm y mínimo de 584.2 mm.</li> <li>– Evapotranspiración: de 0.5 a 1 del volumen promedio de precipitación total por año.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Biotemperatura: media anual máxima de 19.9 °C y mínima de 6.5°C.</li> <li>– Precipitación: máxima anual de 1 722 mm y mínimo de 838.4 mm.</li> <li>– Evapotranspiración: de 0.25 a 0.5 del volumen promedio de precipitación total por año.</li> </ul>
<b>Topografía</b>	– Laderas inclinadas, áreas colinadas y relieve suave a plano.	– Colinas, laderas de moderado a fuerte declive hasta la presencia de afloramientos rocosos, relieve de suave a ligeramente ondulado.
<b>Suelos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Profundidad del suelo: media</li> <li>– Horizonte: A negro</li> <li>– Ácido/básico: ácido</li> <li>– Materia orgánica: Abundante</li> <li>– Unidad: Páramos Andosoles (sin influencia volcánica)</li> <li>– En las áreas inclinadas y de suelos delgados aparecen los Litosoles, y en las de drenaje imperfecto, los Gleysoles y suelos Orgánicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Profundidad del suelo: media</li> <li>– Textura: media</li> <li>– Ácido/básico: ácido</li> <li>– Unidades: Páramo Andoles (influencia volcánica).</li> <li>– Donde existen materiales calcáreos aparecen los Cambisoles eútricos y Rendzimas.</li> </ul>
<b>Vegetación</b>	– Gramíneas (ichu), pastos naturales altoandinos, vegetación de césped de puna y bofedales. (Partes planas).	– Gramíneas y hierbas de hábitat perenne.
<b>Capacidad y Limitaciones</b>	– Capacidad para la producción de pastos para ganado, limitado por el sobrepastoreo. La carga máxima recomendable es de 01 animal/06 ha.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Capacidad: Mejores pastos naturales, y capacidad para el sostenimiento de la ganadería.</li> <li>– Limitaciones: Sobrepastoreo</li> </ul>

Fuente. *Elaborado por RHIND, en base a la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Adecuación de la Red de Vertimientos y Efluentes de la U.E.A. Retamas, a los ECA y LMP. 2015.*

#### **2.4.5.1. Formación Vegetal:**

Las formaciones vegetales son: Bosque, Roquedal, Pastizal, Pajonal Húmedo (bodefal), Matorral y Pajonal. La ecología de los andes tropicales donde se ubica nuestro territorio tiene una particularidad de las formaciones vegetales que está influenciada por factores climáticos y no climáticos, y que cumple un rol importante la altitud y latitud en el territorio y sumado a los factores antes mencionados dan lugar a formaciones vegetales muy particulares como los bosques montanos de los andes, que son llamados como bosque andino, bosque nuboso o bosque de niebla, que alcanza hasta una altura de los 4,000 msnm, con alto contenido de humedad por la constante neblina y fuerte precipitación.

En la actualidad en la zona de estudio la deforestación ha afectado gran parte de los bosques nublados primarios, y se ha realizado una reforestación de los terrenos forestales con árboles de eucalipto en mayor cantidad, seguido de plantones de pino y especies nativas; se reporta que los comuneros de Llacuabamba con ayuda de la empresa minera MARSА vienen sembrando 40,000 plantones anuales, fecha en la cual se dio inicio el año 2011 que empezó el programa de forestación “Llacuabamba te quiero Verde”, y que ha tenido gran éxito cumpliendo su objetivo de recuperación de terrenos forestales, evitar la pérdida de suelos y recuperación de formaciones vegetales, porque en el fondo de los eucaliptos se aprecia un matorral denso que está atrayendo especies que se refugian en la vegetación.

En las partes altas donde se ubica el Páramo a más de 4,000 msnm., donde se encuentra las cumbres más altas del territorio comunal, se aprecian los afloramientos rocosos, donde se desarrolla la vegetación que soporta la variación térmica de temperatura, encontrándose especies denominadas almohadillas, especies xeróficаs, como la *Calamagrostis vicunarum*, que es la más representativa de las formaciones vegetales a esta altitud.

En la Jalca que es la nueva denominación de la formación vegetal del pastizal, los suelos son coluviales resultado de la acumulación de materiales de diversos tamaños y que se ubican en las vertientes del territorio montañoso, contando con una vegetación herbácea, siendo la especies más abundantes las poáceas o gramíneas que

son una familia de plantas herbáceas siendo la resaltante la *Festuca dolichophylla* que es una gramínea cespitosa dura con vainas escabrosas, pajiza y no fibrosa en conclusión no es considerada como una buena pastura para la alimentación del ganado. Esta formación vegetal abarca entre los 4,100 a 4,300 msnm, donde la variación térmica es fuerte durante el día y la noche, su configuración topográfica es de leve a moderada por sus pendientes abarcando gran parte de las zonas altas y quebradas del territorio comunal.

El pajonal andino es otra formación vegetal identificada en la zona, compuesta por vegetación herbácea a una altitud de 3,800 a 4,100, se presenta en una orografía empinada de fuerte pendiente y con una zona de altiplanicie en el sector denominado tres lagunas, se encuentra variedades de especies de *Festuca*, predominando *dolichophylla*, siendo las dominantes las gramíneas y almohadillas. En este sector debido a la cobertura vegetal y a su topografía plana es una fuente de forraje importante para la actividad ganadera de la comunidad que no está siendo manejada adecuadamente, porque el terreno está pasando un proceso de degradación debido al mal manejo de las pasturas, causado un sobrepastoreo y ha nitrificado el suelo y las tres lagunas ubicadas en este sector por el excremento del ganado vacuno y ovino que se cría en el lugar.

El Matorral arbustivo de zona húmeda está formado en el área de estudio por arbustos y matorrales que crecen en suelos con suficiente agua y zonas del territorio, donde se presenta un microclima con mayor temperatura que se presenta en los fondos de los valles y en las partes bajas de las laderas; los arbustos principales son: *Lupinus sp.*, *Baccharis obtusifolia*, *Brachyotum sp.*, *Berberis lutea*.

El Bofedal una formación vegetal con mucha importancia en la región andina, por su función de retener, conservar y purificar la calidad de agua, y refugio de diferentes especies de flora. Un bofedal es considerado una pradera nativa poco extensa con humedad poco permanente. Vegetación siempre verde y de elevado potencial productivo (Alzérreca, 2001). Tienen una capacidad de retener el agua variando su nivel a lo largo del periodo del año, siendo en el verano donde la precipitación es mayor aumenta el volumen de agua retenida, disminuyendo entre los meses de agosto y setiembre y se encuentran compuestos de comunidades vegetales semihidrofíticas, el área del territorio de la comunidad se encuentran a lo largo de la

quebrada Mush Mush, Vaso, Molinetes, parte alta de la quebrada Castilla, las especies predominantes son *Distichia muscoides*, *Oxychloe andina*, entre otras.

Las bofedales de Mush-Mush, El Vaso y Molinete, así como los oconales relacionados con estas formaciones, son formaciones altoandinas del alto valor ecológico por su cercanía a cuerpos de agua como lagunas, corrientes lentas, cumplen una función purificadora del agua porque crecen en suelos saturados de agua o empapados, absorbiendo las sales minerales, logrando el desarrollo de la vegetación higrófila siempre verde, con la presencia de la especie *Distichia muscoides*, como dominante.

#### **2.4.5.2. Flora y Fauna:**

La flora y fauna ha sido afectada por la tala de árboles y destrucción de la cobertura forestal por la colonización de los pobladores del distrito de Parcoy, que llegaron atraídos por la búsqueda de oro. En la flora local no se han registrado especie endémicas, según el monitoreo ambiental que realiza la empresa Minera Aurífera Retamas MARSA; se han identificado 176 especies de flora silvestres, que sirven como forraje para el alimento del ganado y la fauna local, y otras que son utilizadas por los pobladores como uso medicinal, ornamental, entre otros usos.

Según los resultados de estudio de flora por MARSA, el tipo de vegetación en la categoría de herbáceas se encuentra las especies más importantes que son:

- |                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| – Orquidea        | <i>Aa paleacea</i>             |
| – Pega pega       | <i>Acaena ovalifolia</i>       |
| – Culantrillo     | <i>Adiantum veneris</i>        |
| – Savila          | <i>Aloe sp.</i>                |
| – Torumpe         | <i>Calamagrostis vicunarum</i> |
| – Flor de duende  | <i>Bomarea involucrosa</i>     |
| – Agave           | <i>Agave americana</i>         |
| – Manka           | <i>Ageratina sternbergiana</i> |
| – Flor de muerto  | <i>Alonsoa linearis</i>        |
| – Helecho perejil | <i>Asplenium sp</i>            |

Entre las especies arbustivas las más importantes identificadas por MARSA son:

- Carqueja                    *Baccharis genistelloides*
- Chilca                      *Baccharis latifolia*
- Michay                     *Berberis darwinii*
- Chekchi                    *Berberis lutea*
- Pichana,                   *Brachyotum rostratum*
- Dama olorosa            *Cestrum auriculatum*
- Huamanpinta            *Chuquiraga spinosa*
- Campanilla              *Crossandra infundibuliformis*
- Cipres                     *Cupressus sempervirens*
- Romero                    *Diplostephium azureum*

Entre las especies arbóreas las más importantes identificadas son:

- Eucalipto                 *Eucalyptus globosus*
- Pino                        *Pinus sp*
- Pepino silvestre        *Psychotria sp*
- Zarza                      *Rubus fruticosus*
- Trébol fabácea         *Trifolium sp*

La fauna silvestre local ha sido casi exterminada por la población local, según cuenta las personas ancianas era común ver en las zonas de tres lagunas venados, hasta hace algunos años una familia de la comunidad tenía dos venados pequeños en cautiverio, así como el venado muchas especies han sido cazadas y exterminadas. La empresa MARSA realiza un monitoreo biológico de especies de fauna silvestre y han identificado 41 especies de aves, 02 especies de mamíferos y 01 especie de reptil en el ámbito del territorio de la comunidad de Llacuabamba.

Entre las especies de aves destacan el Canastero *Asthenes flammulata*, Colibri cobrizo *Aglaeactis cupripennis*, Lucerito *Carduelis magellanica*, entre otros.

### 2.4.6. Geografía Humana:

La población que reside en la comunidad campesina de Llacuabamba es de aproximadamente 10,000 habitantes, en los últimos siete años ha sucedido un crecimiento poblacional debido a la migración de trabajadores en busca de empleo en la minería artesanal, quienes han llegado al pueblo de Llacuabamba, en la mayoría de los casos con su carga familiar (esposa e hijos). La causa del aumento de la población es la formalización de minería artesanal, realizada en el año 2011 entre la empresa MARSA y la comunidad campesina de Llacuabamba.

En el padrón comunal se tiene registrado a 1,200 comuneros calificados entre hombres y mujeres, quienes gozan de todos los derechos y beneficios que ofrece la comunidad, gracias al acuerdo de alquiler de tierras comunales, trabajo de minería artesanal en concesiones cedidas mediante un acuerdo con la empresa minera MARSA. La mayor población es de hombres que representa el 51 % de la población total, y las mujeres que representan el 49%. La mayor parte de la población es joven, presentando una distribución piramidal concentrándose en 45,63% entre 0 a 18 años, y el 38% entre los 18 a 40 años, siendo considerada una población joven, porque de 0 a 40 años representa en 83% total de la población de la comunidad. (Cigren Perú SAC, 2016).

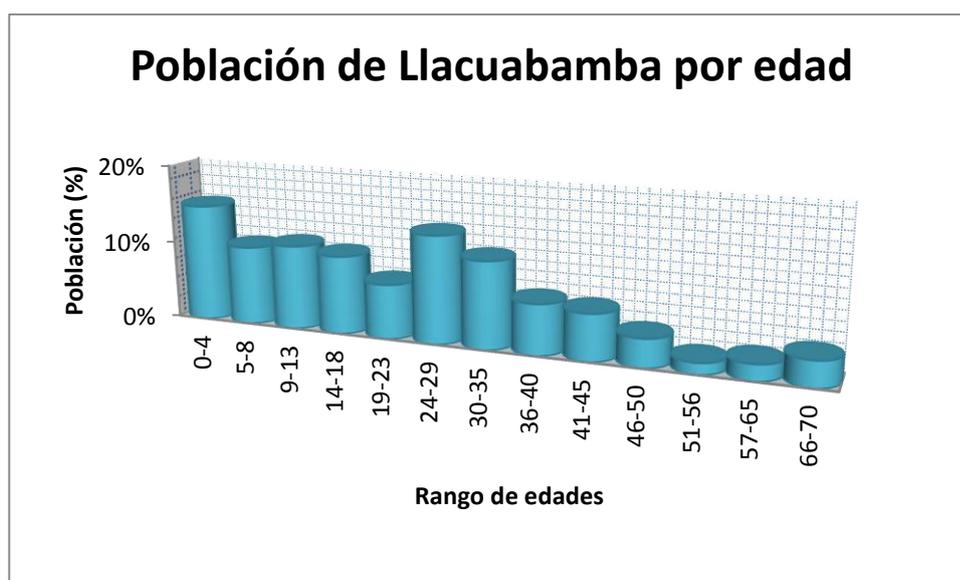


Figura 15. *Población de Llacuabamba por edad*. Fuente. *Cigren Perú SAC. 2016*.

Población Económicamente Activa (PEA), que es la fuerza de trabajo disponible que está en condición de ocupada o desocupada, y que en la zonas rurales en el Perú se considera a una persona como parte de la PEA cuando es mayor de los 15 años representa el 61% de la población, siendo los hombres quienes tienen más oportunidades laborales porque la actividad económica más importante es la minería y demanda mucha mano de obra de los varones por su naturaleza misma de trabajo forzado para la extracción del mineral. (Cigren Perú SAC, 2016).

La población de Llacuabamba mayor es el número de varones, se tiene que de cada 100 personas que residen en la comunidad, 51 son varones y 49 mujeres. Las mujeres son las más vulnerables porque las oportunidades de empleo son escasas para ellas, y porque el machismo es fuerte por parte de los hombres.

Un problema es el alto número de migrantes a la comunidad, que llegan a Llacuabamba por las oportunidades de puestos de trabajo ofrecidos por la minería, tanto de la empresa minera y de la minería artesanal que desarrollan los comuneros calificados, en la actualidad cada uno cuenta con varios peones para realizar sus labores de minado, el pueblo tiene una serie de servicios, de viviendas, un banco, canchas deportivas, un centro de salud, una serie de infraestructura y actividad comercial mayor de todo el distrito de Parcoy.

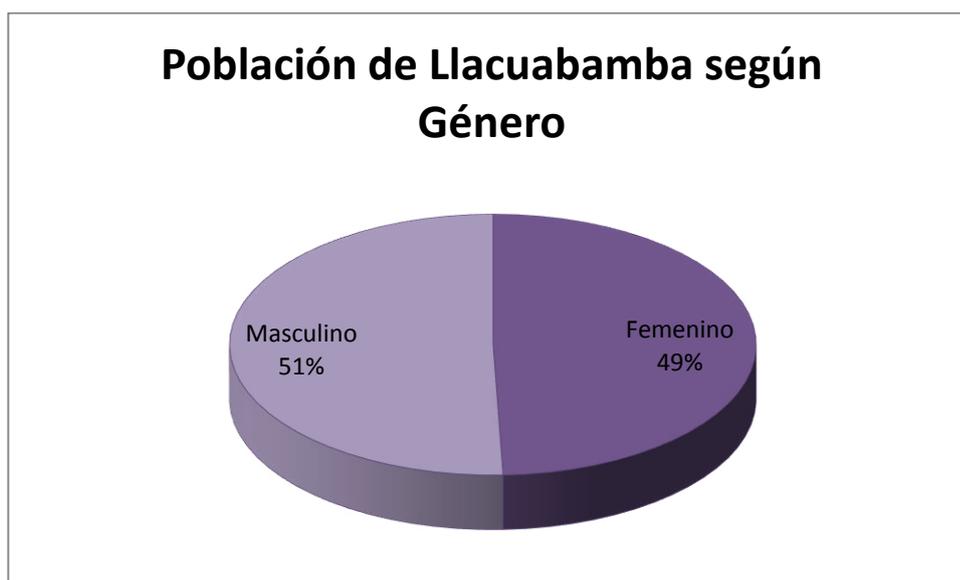


Figura 16. *Población de Llacuabamba según género*. Fuente. *Cigren Perú S.A.C. 2016*.

### **2.4.7. Geografía Económica:**

La actividad económica más importante está vinculada a la explotación y beneficio de minerales, que promueve la generación de empleo, con inclusión social y la reducción de la pobreza.

El 76% de la población económica activa mayor de 15 años tiene como principal ocupación la actividad minera o un empleo asociado a ésta, la empresa más importante es Minera Aurífera Retamas S.A. MARSА, en segundo lugar, es la minería artesanal comunal que tiene un contrato con MARSА, para realizar solamente explotación y extracción de mineral que es vendido a la empresa para efectuar el beneficio del mineral. La firma del convenio de la minería artesanal entre la Comunidad Campesina de Llacuabamba y MARSА que data del 2011 ha generado un impacto económico positivo en toda la comunidad que se refleja en la actualidad en la bonanza económica en el centro poblado de Llacuabamba.

Los 1,200 comuneros calificados tienen derecho a una zona de trabajo y que cuenta a la vez con tres ayudantes o peones generando un total de tres mil personas dedicadas a la actividad de la minería artesanal, mientras que 4,000 personas trabajan en MARSА que provienen de la comunidad, de los distritos cercanos, de la provincia de Pataz, y de las otras regiones del Perú.

Las oportunidades laborales que genera la minería subterránea son para los varones, que consiguen trabajo rápidamente, mientras que las mujeres tienen menos oportunidades laborales en la minería, existen otras oportunidades de trabajo asociada a la ventas o servicios que son negocios y actividades económicas promovida por el crecimiento económico causado por el desarrollo de la minería en la comunidad.

#### **2.4.7.1. Minería:**

El buen momento económico que existe en la Comunidad Campesina de Llacuabamba, es generado por la minería, que concentra el mayor porcentaje de empleo local representando el 76%, comercio y servicios 14%, agricultura 4%, ganadería 3%, otros 3%.

Los hombres de la comunidad incluido los jefes de familia trabajan en la minería, concentrando el trabajo de los varones, las mujeres son el grupo más vulnerable en el empleo laboral, las que consiguen trabajo se dedican a las actividades de servicios, comercio, crianza de animales o a la agricultura, al cuidado del hogar y a los hijos.

Cuadro 18.  
Principales actividades laborales de la población

<b>Actividad Principal</b>	<b>Total</b>
Minería	76 %
Comercio y Servicios	14%
Agricultura	3%
Ganadería	3%
Otros	3%

Fuente. *CIGREN PERU SAC. 2016.*

El desarrollo de la minería ha sido promovido por minera MARSA, que es la principal fuente generadora de empleo local, la minería artesanal que desarrolla la comunidad de Llacuabamba, viene empleando a un grupo importantes de pobladores de la comunidad y de otros lugares cercanos. La economía familiar de los comuneros calificados en los últimos años ha mejorado positivamente con los altos ingresos económicos debido a la extracción y la venta de mineral que realizan los comuneros a MARSA, mediante el convenio de desarrollo de la minería artesanal que ha cedido concesiones para su explotación por parte de la comunidad.

La comunidad de Llacuabamba tiene el registro de productor minero artesanal, otorgado por la Dirección Regional de Minería del Ministerio de Energía y Minas, la extracción y explotación de mineral se realiza con las normas de seguridad y salud ocupacional, cuenta con un certificado de operaciones mineras, autorización para la venta mineral, emiten factura por la venta mineral y pagan todos sus tributos e impuestos a la SUNAT.

### **2.4.7.2. Agricultura:**

La relación hombre tierra en Llacuabamba es baja según Cigren Perú solo el 1.52% del territorio tiene potencial a la agricultura, las fuertes pendiente del territorio, y el poco desarrollo de los perfiles del suelo, el desarrollo de la agricultura es bajo, las tierras no son productivas, y su acidez es alta, se practica la agricultura en secano muy reducida, con una producción para el abastecimiento familiar, cosechas productos como papa, alfalfa, maíz, habas, oca, cebada son los productos principales.

Las familias que se dedican a la agricultura lo hacen por costumbre ancestral, y contratan a pobladores locales para tener la mano de obra y trabajar la tierra, pero los jornales que se pagan son demasiados bajos en comparación lo que paga la minería, esto ha ocasionado una escasez de mano de obra para las faenas agrícolas.

La agricultura de secano depende de las condiciones climáticas, que está marcada por dos estaciones, la época de lluvia en los meses de diciembre a marzo y la temporada seca de junio a setiembre. Las áreas sembradas usan el sistema de riego tradicional, captando las aguas de lluvia o aprovechamiento de cursos de agua que son canalizados, para regar los terrenos agrícolas, el mantenimiento de los canales de regadío, se realizan en faenas comunales denominada La República.

### **2.4.7.3. Ganadería:**

Como la agricultura la ganadería no es significativa en la comunidad, tampoco es una actividad económica importante, los comuneros que se dedican a la crianza de animales mayores y menores son pocos. Las mujeres y los niños de las familias son la que se encargan del cuidado de los animales que se realiza sin tecnificación y la falta de control sanitario adecuado para los animales.

El ganado vacuno que cuentan las familias comuneras se concentra en las zonas siguientes: Sector Tres Lagunas, La Castilla, Vaquerías, Cerro Negro y el sector llamado Ceja de Selva, el ganado vacuno permanece en estos lugares, donde subsiste buscando su alimento con pasturas de mala calidad, y soportando las fuertes

condiciones climáticas, la comunidad presenta una ganadería muy limitada por falta de inversión y asistencia técnica.

El ganado ovino, caprino y porcino, como los animales de carga burros y caballos, se concentra en pocas familias, que debido a su poder económico se dedican a esta actividad de una manera secundaria, sin embargo, hay familias que cuentan con más de 30 cabezas de ganado vacuno, o otras con 60 a 200 cabezas de ovinos,

La ganadería menor crianza de aves de corral también realiza las familias del pueblo, como la crianza de cuy que tienen una gran demanda en diferentes épocas del año, principalmente cuando se realizan las festividades del pueblo a lo largo del año.

#### **2.4.7.4. Recursos Forestales:**

El área de estudio en su territorio presenta buenas condiciones para el desarrollo del recurso forestal, por la orografía del terreno para el adecuado manejo del suelo y evitar la erosión, la siembra de árboles es una solución para el manejo y conservación de suelos, existen evidencia que la zona en el pasado ha tenido una cobertura forestal importante, que fue afectada por la tala indiscriminada de los colonos para la siembra de cultivos y la tala de árboles para el aprovechamiento de leña y madera.

La comunidad de Llacuabamba juntamente con la empresa MARSA y en convenio con Agro Rural PATAZ, del Ministerio de Agricultura de Perú, vienen desarrollando una recuperación de los terrenos con potencial forestal, realizando la siembra de plántones de eucaliptos y pinos, tal proyecto comenzó en el año 2007 y se viene ejecutando hasta la actualidad, sembrando por año 40,000 plántones (pinos y eucaliptos), que representan 40 hectáreas por año. Observando las laderas de los cerros en la comunidad se pueden apreciar la joven cobertura forestal resultado del proyecto de forestación que vienen ejecutando para promover la actividad forestal y todos los beneficios que genera para la comunidad.

Los terrenos comunales tienen un potencial para actividad forestal que varía por las condiciones orográficas, altitud, temperatura, humedad, por lo que debe ser

manejado los terrenos tomando en cuenta los factores geográficos, edáficos y orográficos del territorio, así mismo se deben considerar diferentes especies de acuerdo a las características antes señaladas del lugar donde se sembraran los árboles. En el programa de forestación han descartado a las especies nativas porque son de lento crecimiento y tenían interés en recuperar cuanto antes la cobertura forestal con especie de rápido crecimiento como son las especies exóticas.

Se pueden observar algunas especie forestales o arbustivas como: el nogal, ulcumano, el diablo fuerte, roble, que no son abundante que son encontradas en algunas zonas de terrenos de los comuneros, que han sido manejadas y cuidadas por ellos al encontrarse dentro de los predios de su propiedad.

El desarrollo forestal puede dinamizar la economía comunal, por los beneficios que se derivan del adecuado uso y manejo forestal, de una forma planificada y de buena gestión que comprenda la protección del suelo, la siembra de agua y recuperación ecosistémica.

#### **2.4.7.5. Construcción de Viviendas:**

En los últimos seis años se ha producido un crecimiento de la construcción del pueblo, la llegada de nuevas personas buscando oportunidades laborales, ha generado que las personas construyan y modifiquen sus viviendas, la transformación de las viviendas del pueblo que eran de adobe o tapial, han pasado a ser construidas con ladrillos y cemento, alcanzado varios pisos, el cambio de uso de suelo ha pasado de terrenos que eran usado en el pueblo para la siembra de hortalizas hacer construidos con edificios de 3 a 5 pisos en promedio para fines de vivienda o de alquiler.

La modificación de las viviendas, edificios públicos, colegios en la comunidad ha generado una demanda laboral en la construcción que se ha visto favorecida en los últimos años, que son una muestra del buen momento económico que tiene la comunidad, sin embargo la llegada de nuevos trabajadores de otros distritos cercanos, o de otros lugares también ha generado el asentamiento de viviendas pecarías en el alrededor del pueblo, donde se aprecia viviendas en extremas pobrezas resultado la migración al pueblo.

## 2.5. Marco Conceptual o Glosario

- **Área de Potencial Interés:** Extensión de terreno sobre el que se realizarán efectivamente las labores de muestreo. Se trata de áreas identificadas durante la Fase de Identificación en las cuales existe alguna evidencia de potencial de contaminación.
- **Biodisponibilidad:** Parámetro que expresa el grado de accesibilidad de un compuesto para ser asimilado por los seres vivos. Cuanto más biodisponible sea un contaminante mayor será su efecto nocivo sobre los seres vivos.
- **Cadena de Custodia:** Proceso documentando de las muestras, su transporte, conservación y entrega de éstas al laboratorio para la realización de pruebas de análisis fisicoquímico, realizado por el personal responsable.
- **Calidad de Suelo:** Es el nivel óptimo del suelo para cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le otorgan una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico natural antropogénicas.
- **Contaminante:** Sustancia química que causa una alteración a un componente ambiental y cuya concentración excede el parámetro establecido de calidad ambiental y susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente.
- **Conservación de Suelos:** Procedimientos para minimizar los problemas de degradación de los suelos, determinando la forma de uso y manejo más apropiada.
- **Caracterización de Suelos Contaminados:** Datos cuantitativos y cualitativos de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación.

- **Degradación del Suelo:** Deterioro de la calidad del suelo por alguno o varios de los siguientes procesos: erosión, compactación, contaminación, salinización, acidificación, etc.
- **Ecosistema:** Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional.
- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** Es la medida que establece el nivel de concentración o de grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.
- **Escenario de exposición:** Es el área física territorial que comprende la extensión del riesgo ambiental.
- **Emergencia:** Evento, indeseado o inesperado, que ocurra repentinamente y que traiga como resultado la liberación no controlada, incendio o explosión de uno o varios materiales peligrosos o residuos peligrosos que afectan la salud humana o el ambiente, de materia inmediata.
- **Evaluación del Riesgo Ambiental:** Es el proceso mediante el cual se determina si existe una amenaza potencial que comprometa la calidad del agua, aire o suelo, poniendo en peligro la salud del ser humano como consecuencia de la exposición a todos los productos tóxicos presentes en un sitio, incluyendo aquellos compuestos tóxicos presentes que son producto de actividades industriales ajenas al sitio o cualquier otra fuente de contaminación, y define un rango o magnitud para el riesgo.

- **Evaluación de Riesgo a la Salud y el Ambiente:** Estudio que tiene por objeto definir si la contaminación existente en un sitio representa un riesgo tanto para la salud humana como para el ambiente, así como los niveles de remediación específicos del sitio en función del riesgo aceptable y las acciones de remediación que resulten necesarias.
- **Horizonte de Diagnóstico:** Es un horizonte del suelo definido morfométricamente o por los menos, con la mayor precisión posible, con datos de campo y de laboratorio, característicos de algunas clases de suelos.
- **Fondo Geoquímico:** Se refiere a la concentración de un elemento en un determinado medio, en ausencia de cualquier aporte externo específico derivado de la actividad humana. Para un mismo elemento, el valor de la concentración variará según cuál haya sido el material originario del suelo.
- **Punto de muestreo:** Lugar del suelo donde se toman las muestras, sean éstas superficiales o de profundidad.
- **Receptores:** Organismo de origen humano, animal o vegetal, población o comunidad que está expuesta a contaminantes.
- **Riesgo Ambiental:** Se define como la probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico.
- **Remediación:** Relación de medidas a desarrollarse en un lugar contaminado con la finalidad de eliminar o reducir contaminantes, a fin de asegurar la protección de la salud humana y la integridad de los ecosistemas.
- **Ruta de Exposición:** Trayecto de un contaminante desde su origen hasta el cuerpo receptor identificado.

- **Sistemas de Coordenadas Cartográficas UTM:** Sistema de Coordenadas Transversal Universal de Mercator (en inglés Universal Transverse Marcator, UTM), identifica un punto de la superficie terrestre, y tiene como unidad de medida el metro. Es un sistema cilíndrico transverso conforme, secante al globo terráqueo el cual se encuentra relacionado con el elipsoide del Sistema de referencia Geodésico 1980 – Geodetic Reference Sytem 1980 (GRS80), siendo de utilización más idónea, del cual deriva el World GeodeticSystems-WGS84. (Resolución Jefatural N° 112-2006-IGN/OAJ/DGC/J).
  
- **Suelo:** Capa superior de la corteza terrestre, formando por elementos orgánicos inorgánicos, agua, aire, materia orgánica y organismos, divididos en perfiles verticales.
  
- **Suelo Agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como el caso de las áreas naturales protegidas.
  
- **Suelo Comercial:** Suelo dedicado a actividades con operaciones comerciales y de servicios.
  
- **Suelo Contaminado:** Lugar cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, que sobrepasen los parámetros fijados en el ECA para suelo.
  
- **Suelo Industrial/ Extractivo:** Clasificación del suelo donde se realiza actividades de extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales, como minería, hidrocarburos entre otros y/o la elaboración, transformación o construcción de bienes.
  
- **Suelo Residencial/Parques:** Espacio dedicado a la construcción de viviendas, incluyendo áreas verdes, áreas de recreación y esparcimiento.

## 2.6. Identificación y Clasificación de las Variables

Las variables independientes y dependientes utilizadas en el desarrollo de esta tesis fueron:

### **Variable Independiente:**

- Contaminación de suelos por arsénico.

### **Variables Dependientes:**

- Origen de la contaminación de suelo por arsénico.
- Procedimientos secuenciales y alternos en el suelo.

### **Variables Controladas:**

- Análisis del contenido de arsénico en el suelo
- Selección, estudio, análisis y evaluación de las muestras a tomar para conocer la calidad del suelo y ecosistémica.
- Distribución de la presencia de arsénico en los perfiles del suelo.

## 2.7. Operacionalización de Variables

La operacionalización de variables se explica en el siguiente cuadro:

Cuadro 19  
Operacionalización de Variables

Variable	Definición	Indicadores	Instrumentos	Valorización
Contaminación de suelos por arsénico.	Variable Independiente	Caracterización de los factores ambientales.	Realización de un diagnóstico del medio físico.	Descripción de los componentes del medio físico.
		Presencia de arsénico en el agua.	Reporte de monitoreo de calidad de suelos.	Cumplimiento del parámetro fijado para arsénico en el ECA de Agua.
		Presencia de arsénico en el suelo.	Toma de muestra de suelos.	Cumplimiento del parámetro fijado para arsénico en el ECAS de suelo.
		Presencia de arsénico en el nivel de fondo.	Toma de muestras del perfil "C" del suelo	Cantidad de mg/kg de arsénico en el suelo.
Origen de la Contaminación de suelos por Arsénico.	Variables Dependientes	Cuantificación de los resultados de monitoreo de suelos.	Identificación y ubicación cartográfica de los pasivos ambientales.	Comparación con límite establecido para suelos de uso industrial o extractivo.
Procedimientos secuenciales y alternos en el suelo.		Cumplimiento del estándar nacional de calidad de suelo.	Técnicas y herramientas de muestreo de suelos.	Valorización del nivel de fondo.
		Porcentaje de arsénico en los 30 cm del suelo.	Realización de las tomas de muestra de suelos y análisis en un laboratorio certificado.	Resultado del contenido de arsénico en los 30 cm de profundidad, en 20 estaciones de monitoreo.
		Fondo Geoquímico y presencia de arsénico		

*Fuente:* Elaboración Propia

## 2.8. Matriz de Consistencia

En el Anexo N° 1 (ver anexo 1) se encuentra la matriz de consistencia de la presente tesis.

## **CAPITULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Metodología de la Investigación**

La metodología de la investigación comprendió cuatro etapas las cuales fueron las siguientes:

- Etapa de gabinete y recopilación de información.
- Etapa de campo donde se efectuó la caracterización del medio físico, monitoreo de suelos, entrevistas, entre otros.
- Etapa de procesamiento de la información.
- Etapa de redacción del informe final de la tesis doctoral.

### **3.2. Tipo y Diseño de la Investigación**

Debido a las características del estudio seleccionado el tipo y nivel de investigación es no experimental, descriptivo, explicativa, transversal y aplicada, siendo una investigación que para su desarrollo se utilizó el método sistémico.

### **3.3. Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación se basa en el método sistémico para comprender y analizar la distribución del arsénico como un elemento químico contaminante en el suelo y ecosistema y cómo este elemento se transforma e integra por los diferentes procesos del suelo a otros elementos biogeoquímicos esenciales para la naturaleza y la vida causando efectos negativos a los organismos vivos y en especial a la salud del hombre.

La investigación se desarrolló con una estrategia que permitió comprobar las hipótesis planteadas, para ello se realizó un diagnóstico situacional del área delimitada

de estudio para conocer las características ambientales, sociales, económicas del área de estudio, la situación de las variables de calidad del suelo, contenido de arsénico en distribución, extensión y profundidad en el suelo, e importancia de la edafogénesis del suelo. Posteriormente se identificó los terrenos con mayor contenido de arsénico en el suelo, se evaluó su contenido y se determinó su origen en el suelo de la comunidad campesina de Llacuabamba.

La investigación es no experimental, porque se recolectaron muestras de suelos, para realizar el diseño de la distribución de la presencia de arenisco en el suelo y evaluar su presencia en la variación de la calidad del suelo.

Es descriptiva porque el análisis de las muestras obtenidas y datos permitieron describir las características de la calidad y la presencia del arsénico en el suelo del área de estudio, para analizar e interpretar los efectos en el suelo contaminado por arsénico.

Explicativa debido a que tiene como fundamento explicar y determinar la cantidad, distribución y origen del arsénico en el suelo de la comunidad campesina de Llacuabamba, y que la prueba de hipótesis como las conclusiones lleven a explicar los principios de la distribución de un contaminante en el suelo, permitiéndonos analizar sus orígenes y efectos de la relación entre las variables.

Transversal porque corresponde al tiempo que se realizó el estudio, y que las condiciones de la presencia del contaminante varían a lo largo del tiempo en cantidad y contenido en los diferentes perfiles del suelo.

Aplicativa porque con los resultados obtenidos del muestreo de suelos realizado nos permite conocer la calidad actual de los suelos y su contenido de arsénico en los barrios de la comunidad y que tienen que ser descontaminados para garantizar la salud de la población local.

### **3.4. Unidad de Análisis**

El universo de la investigación comprende el territorio del centro poblado de la Comunidad Campesina de Llacuabamba que tiene una extensión de 30.52 hectáreas,

y la toma de muestras de suelo de los cuatros barrios del pueblo que son: Las Chilcas, Miraflores, El Totoral y Las Espinas, ubicándose 20 puntos de muestreo de suelos para efectuar un análisis y conocer la calidad de suelo, en relación con el contenido de arsénico.

Adicionalmente a los resultados del muestreo de suelo se buscó información disponible de las entidades públicas o privadas sobre estudios referentes del medio físico y suelo, así como la revisión de los EIA u otros instrumentos de gestión ambiental que tendrían las empresas mineras formales asentadas en la comunidad. Esto nos permitió conocer la historia del uso de suelo, génesis del suelo, y conocer el origen y ciclo que sigue el contaminante y su adherencia a los diferentes niveles de los estratos en el suelo como a los componentes ambientales y organismos vivos.

La utilización del sistema de información geográfica permitió representar los mapas de la caracterización del espacio geográfico, así como ubicar y describir los puntos de muestreo, analizando los principales componentes del medio físico local de la zona de estudio.

### **3.5. Población de Estudio y Tamaño de la Muestra**

El área de estudio es la Comunidad Campesina de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, Región la Libertad.

**Población:** El universo poblacional está compuesto por la extensión del territorio del centro poblado de Llacuabamba y la zona donde se realizan las operaciones de extracción y beneficio de minerales, que tiene una extensión de 30.52, donde se determinó la calidad de los suelos, la presencia y origen del arsénico.

El centro poblado de la comunidad que se divide en cuatros barrios donde residen 10,000 personas aproximadamente, que se dedican a diferentes actividades económicas, siendo la principal la actividad económica la minería.

**Muestreo de suelo:** Se tomaron 20 muestras del suelo para conocer la calidad de los suelos del área de estudio a una profundidad de 30 centímetros, para conocer la

presencia y distribución del arsénico, en los diferentes perfiles del suelo. Los análisis de las 20 muestras se realizarán en un laboratorio certificado con ISO 9001, ISO 17025, y acreditado por el Instituto Nacional de Calidad INACAL y con el método de análisis de ICP-masa.

### **3.6. Selección de la Muestra**

Por ser un estudio con una visión ecosistémica que analizo la distribución y origen del arsénico en el suelo en el territorio del centro poblado de la Comunidad Campesina de Llacuabamba, el ámbito de la selección de muestra comprendió lo siguiente:

Ubicación de 20 puntos en los terrenos de la comunidad campesina de Llacuabamba, donde se tomaron las muestras de suelos que determinó la presencia de arsénico en suelos de la comunidad. Para la toma de muestras se siguió las recomendaciones de la guía para el muestreo de suelos del MINAM que brinda las especificaciones y técnicas para la toma de muestras.

Para la descripción de las características y propiedades del suelo, se siguió la guía del Dr. J.M. Hodgson, que detalla los procesos a seguir para analizar, describir los tipos de suelos y determinar las estaciones de muestreo, así como la forma de preparación del terreno para la toma de muestras.

Referente al tamaño de la muestra por ser la extensión del territorio conocido que define los límites del centro poblado del área de estudio, se determinaron 20 puntos de monitoreo para que sea representativa, realizándose un muestreo aleatorio teniendo en cuenta la configuración geográfica del terreno, que permitió la localización de los puntos de muestreo del área de estudio.

### **3.7. Técnica e Instrumento de Recolección de Datos**

Para el desarrollo de la presente tesis se utilizaron las técnicas de análisis, descripción y muestreo de suelos que son:

Técnicas de análisis documental y entrevistas, utilizando para su realización: revisión bibliográfica, fichas bibliográficas y guías de entrevistas.

La descripción y clasificación del suelo, para la determinación de los tipos de suelos, y observación de los perfiles del suelo, y las características ambientales como el clima, geomorfología, cubierta vegetal y pendiente de los terrenos donde se ubicaron los puntos de monitoreos según (J.M. Hodgson, 1987), que en la actualidad se mantiene vigente para los estudios de suelos.

La técnica de monitoreo (Webster, 1977); en prospección de suelos, se refiere a que se tomó las muestras de suelos de las estaciones identificadas a una profundidad de 30 centímetros, para designar el sitio y la unidad de suelo para determinar la presencia del contenido de arsénico en perfil A del suelo.

Las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno, cada una con la cantidad de 500 gramos, debidamente selladas y rotuladas, para su posterior traslado de análisis químico para identificar el contenido de arsénico, el análisis se efectuó en un laboratorio certificado por el INACAL, mediante el método de ICP-masa, obteniéndose el resultado de la calidad de suelos con relación a la presencia de arsénico en los suelos de la comunidad campesina de Llacuabamba.

Se utilizó para el análisis de los resultados del parámetro del arsénico lo establecido por el estándar de calidad de suelos, aprobado por D.S. N° 011-2017.MINAM.

Utilizándose para el análisis de la información indicadores estadísticos para el procesamiento e interpretación de los datos.

### **3.7.1. Instrumentos:**

Los instrumentos utilizados fueron los siguientes:

- Instrumento multiparámetro para la toma de muestras de parámetros físicos en el suelo.
- Toma de muestra de suelo mediante la realización de hoyos de diámetro de 20 x 50 cm.
- Equipo y herramientas para la realización de los hoyos para las tomas de muestras.
- Instrumentos de posicionamiento geográfico para precisar los puntos de muestreos de campo y realizar la ubicación geográfica.
- Uso de un laboratorio certificado con ISO 9001 y acreditado con la técnica ISO 17025, para el análisis de las muestras de suelos.
- Uso del Sistema de Información Geográfica para la elaboración de los mapas de la zona de estudio.

### **3.8. Análisis e Interpretación de la Información**

El análisis e interpretación de los resultados obtenidos se realizaron en base a la teoría de análisis cualitativa, además del tratamiento correspondiente de la información que se presentó de la manera siguiente:

- En cuadros estadísticos los resultados del monitoreo de la calidad de suelo, para determinar su cumplimiento en relación con los ECAS de suelo fijados por la legislación peruana, para determinar si los valores están por encima del parámetro de calidad de suelo referente a la presencia de arsénico en el suelo.
- Interpretación de los resultados del análisis de suelos, dividido el terreno en rejillas regulares aleatorias del centro poblado y la zona extractiva minera, obteniéndose los resultados del arsénico en gramos por kilo de las muestras obtenidas en cada punto de monitoreo de la zona de estudio.
- Se utilizó el software del SPSS V.22.

- Se utilizó el diagrama de caja que es un tipo de gráfico que nos permite describir la variabilidad de las tres zonas que hemos dividido el pueblo, el grado de dispersión, la media aritmética del contenido de arsénico en el suelo y el rango de las cantidades máximas y mínimas.
- Se realizó un mapa de las zonas que presenta mayor concentración de arsénico en los terrenos de la comunidad.

Con el debido procesamiento, análisis e interpretación de la información se conoció la calidad del suelo y el origen de la presencia de arsénico en el suelo de la Comunidad Campesina de Llacuabamba, que permitió obtener las conclusiones de la presente tesis sobre la cantidad y origen del arsénico en el suelo que tienen incidencia directa en la calidad ambiental territorial de la comunidad.

Para la prueba de hipótesis se utilizó la Prueba No Paramétrica del Test del Signo para cada Zona del Centro Poblado (Zona Rural, Zona Urbana y Zona Industrial).

## **CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de los Resultados.**

#### **4.1.1. Factores que originan la contaminación de suelos por Arsénico:**

El arsénico es un elemento químico tóxico, que puede estar con características químicas orgánicas e inorgánicas, y su origen en el suelo puede estar determinada de manera natural o por actividades antrópicas. La zona de estudio donde se ubica el centro poblado de Llacuabamba, la actividad económica principal es la actividad minera, a nivel de mediana, artesanal formal y minería informal o ilegal, esta última desarrollada por algunas personas que residen en el pueblo, calculándose cerca de 50 molinetes ilegales, que operan de forma ilegal, sin ningún control de seguridad y cuidado en materia ambiental, ni medidas que protejan la salud ocupacional, causando efectos negativos al ambiente por la liberación de metales pesados por su proceso de molienda, estas partículas con contenido de arsénico que termina finalmente en el suelo.

El territorio de comunal de Llacuabamba geológicamente está formado por zonas mineralizadas auríferas que contienen altas concentraciones de arsénico, principalmente arsenopirita, por ello la génesis de la roca madre es un factor importante a tener en cuenta en el contenido de minerales en el suelo, sobre todo en su nivel de fondo, esto nos explica que en zonas auríferas se puede encontrar como parte del suelo niveles elevados de arsénico, siendo su origen de forma natural, y que llegan al suelo de varias formas; pueden ser arrastrado por los cauces de agua por acción de la precipitación o la erosión del viento transportando las partículas de arsénico que se depositan en el suelo, contando con una serie de factores que originaran la presencia de arsénico en el suelo de la zona de estudio.

Los factores que originan la contaminación de suelos por arsénico son:

- Edafogénesis de la roca madre para la formación de suelo.
- La mineralización de la zona de estudio formada por la arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), que se encuentra en vetas de cuarzo y oro y que contiene arsénico, hierro y azufre como sulfuro.
- Evolución del suelo en sus diferentes niveles de capas que forman los horizontes.
- Aguas superficiales y subterráneas que tengan contacto con yacimientos de arsénico.
- Propiedades del suelo afectado por el clima.
- Condiciones de la biota o materia orgánica presente en el suelo.
- Actividad minera formal (mediana minería y artesanal comunal), informal e ilegal que se realiza en la zona.
- Desarrollo de actividades como la ganadería y agricultura por el uso de plaguicidas arsenicales, por parte de los comuneros.

#### **4.1.2. Edafogénesis del suelo.**

El origen del suelo en el área de estudio ha sido resultado de los factores formadores, que han definido en el tipo e intensidad de los procesos edafogénicos, siendo éstos los siguientes:

- La roca madre; que es el material parental u original que ha sido el origen para formación del suelo.
- El clima de la zona que está determinado por fuertes precipitaciones en los meses de verano, variación de temperatura durante las estaciones del año, y en el día la variedad térmica durante diferentes horas del día y la noche que afectan a los tipos de roca, la acción de la meteorización, erosión y transporte de las partículas formadoras del suelo.
- Organismos vivos que actúan sobre la roca madre, material originario causando disgregación, y acelerando la formación del suelo.

- Geomorfología y fisiografía, la influencia de la pendiente en el desarrollo del suelo formativo del suelo, las formas y características resultantes, así como las formas del terreno como ha sido su desarrollo del paisaje que es resultado de un espacio territorial formando dos tipos de valles aluvial y coluvial.
- La determinación del tiempo en el resultado de la génesis del suelo, en la formación de la variabilidad espacio temporal.
- Los factores hidrológicos y sedimentarios de la acumulación de la formación de las terrazas aluviales donde se ubica el pueblo.
- Acción antrópica para la ocupación del área modificando el terreno e incluyendo material de préstamo para el asentamiento del pueblo.
- Procesos edafogénicos, también llamados procesos formadores que han dado lugar a la formación del suelo en el área donde se ha localizado el centro poblado, como son los factores físicos, factores biogeoquímicos, procesos básicos.
- La geología local del área de estudio presenta rocas areniscas, conglomerados arenosos, limolitas y volcánicos, que han sido el material parental que ha sufrido la acción de los factores climáticos y no climáticos en la formación del suelo del centro poblado de Llacuabamba.

#### **4.1.3. Mineralización en el área de estudio.**

La geología regional y local descrita anteriormente en lo correspondiente a las características de los factores geográficos, como son la geología, geomorfología, geoquímica, que en su conjunto son factores que influyen en la formación del suelo, siendo la geología predominante en la zona la formación aurífera de Parcoy, formado por rocas intrusivas que forma parte del Batolito de Pataz, que han dado lugar a la explotación de minas longevas de más de 40 años explotación, algo no tan usual en la minería aurífera.

La mineralización formada por el distrito minero de la zona aurífera, está formada por fallamientos y fracturamientos, por donde ha circulado las soluciones mineralizadas hidrotermales, que dieron origen a las vetas, constituidas por cuarzo lechoso, pirita, arsenopirita, marmatita, esfalerita, calcopirita, galena, pirrotita y oro nativo libre (MARSA, 1995). En el recorrido del campo se pueden apreciar zonas con

buena estratificación, algunas estructuras rocosas fuertemente diaclasadas con evidencia alteración hídrica, que son una causa por la erosión hídrica la disgregación de roca y liberación de partículas con contenido de metales pesados, que terminan siendo transportado por el agua o viento y depositados en el suelo.

El arsénico está distribuido en varios minerales, existiendo en concentraciones que se dan en forma de arseniuros de cobre ( $\text{Cu}_3\text{As}$ ), plomo ( $\text{Pb}_3\text{As}_2$ ), plata ( $\text{Ag}_3\text{As}$ ), oro ( $\text{AuAs}$ ). Permaneciendo en las zonas mineralizadas en algunas ocasiones de forma estable debido a las condiciones reductoras. Ciertos compuestos formados por arsénico están enlazados a los minerales del suelo, particularmente a los óxidos e hidróxidos metálicos coloidales, mediante enlaces iónicos (Wauchope, 1983). Que se liberan y se distribuyen en los diferentes perfiles del suelo, donde se asienta el pueblo los suelos están formados por la acumulación de materiales transportados por el río, que se depositaron en tres diferentes niveles, y que contienen minerales diseminados en diferentes cantidades.

La existencia de arsénico en la zona mineralizada de Parcoy, Gigante y Buldibuyo, corresponde a la arsenopirita, calcopirita, pirrotita y galena, estos compuestos formados que contienen altas concentraciones de arsénico (MARSA, 2010), presente en los minerales de origen de sulfuros, que en la mayoría de casos pueden superar el veinte por ciento del peso total del mineral y se enlazan a los minerales para formar parte del suelo.

La presencia de metales pesados está relacionado a la mineralogía local en el territorio de la comunidad de Llacuabamba, que al existir minerales auríferos que contiene concentraciones de arsénico, como la arsenopirita que es abundante en la zona de estudio ( $\text{FeAsS}$ ) y contiene 46% de arsénico, 34,3% de hierro y un 19.7% de azufre, encontrándose dos tipos de pirita, la más abundante acúbica clara y la otra oscura; existiendo una gris ploma clara parcialmente no aurífera y la otra gris ploma oscura altamente aurífera (MARSA, 2010).

Siendo la zona de estudio por las condiciones descritas un territorio con alto potencial de la presencia de arsénico de forma natural en los suelos, teniendo como principal origen la mineralogía local, donde el oro se halla en estado libre conocido

como oro nativo, y asociado a la pirita y arsenopirita, encontrándose en nódulos dentro de los óxidos, es un factor entre otros que ha permitido la movilización de este metaloide en los diferentes niveles del suelo, aumentando su presencia cuando se extrae el material rocoso en el proceso de minado, denominado desmonte para el acceso a las vetas auríferas que son explotadas.

En los suelos formados por depósitos fluviales y aluviales como el caso de las terrazas aluviales, la estratigrafía de los horizontes que se han desarrollado en el tiempo por acumulación de materiales transportados, el valor del nivel de fondo nos indicaba la distribución de elementos minerales presentes en su temporalidad, y su depósito en cantidad o variabilidad hacia el ascenso de la superficie del metaloide, los horizontes presentaban diferentes cantidades de concentraciones de minerales, que provienen resultado de la erosión y disgregación de rocas con materiales ricos en contenido de minerales, como el caso del arsénico y otros sulfuros, por consecuencia los suelos presentan un alto contenido de arsénico sin que necesariamente sea resultado de las acciones antrópicas.

Al existir operaciones mineras la contaminación de suelos por arsénico se incrementa por la explotación de los yacimientos formados por sulfuros o óxidos, resultados de procesos de oxidación como la pirita, la precipitación de óxidos y oxidróxidos de hierro, que facilita la adsorción del arsénico, esto ha sido favorecido por la explotación minera de más de cuarenta años, en sus dimensiones de producción de mediana, artesanal, informal e ilegal en el ámbito territorial de la comunidad.

#### **4.1.4. Geomorfología y fisiografía en la formación de suelos.**

Las 30.52 hectáreas donde se asienta el pueblo de Llacuabamba es una terraza aluvial que presenta tres niveles de depósito de acumulación de material presentando diferentes alturas con relación al nivel actual del río Llacuabamba, la primera es la que está cercana al cauce de río a una distancia hasta 500 metros, donde se asienta el barrio de las Chilcas, llegando hasta el puente la Tahona que corresponde al límite donde termina el pueblo, la segunda formada es la intermedia donde se ubica la plaza de principal el local comunal, y se extiende desde el paradero de vehículos hasta donde se encuentra la posta medica comunal, el tercer nivel se encuentra con estratificaciones de

mayor pendiente comprendiendo el barrio del bosque, donde comienza el desnivel mayor de terreno con una pendiente cada vez más pronunciada.

La topografía alrededor del centro poblado es abrupta, así como gran parte del territorio de propiedad de la comunidad, la superficie presenta un modelamiento complicado de fuertes pendientes y terrenos abruptos, resultados de eventos tectónicos, actividad glacial, erosión fluvial, que han formado el valle del río Llacuabamba. La terraza aluvial de tres niveles donde se asienta el centro poblado se ubica a una altitud de 3,200 m.s.n.m, conformada por una fisiografía de fuertes pendientes.

La geomorfología y fisiografía del relieve ha determinado la acumulación y desarrollo de los suelos de la comunidad, influenciada por el desplazamiento del material resultado de la disgregación ocurridos a lo largo del tiempo. Analizando las posiciones fisiográficas de la formación de los niveles de la terraza aluvial donde se asienta el pueblo, se consideran los diversos tipos de materiales parentales determinados por su ubicación y que presenta un patrón distribuido en los diferentes niveles que comprenden el terreno, y que se acumulado en los horizontes del suelo, y que nos permitió conocer la descripción de los suelos según su origen y como ha sido el proceso edafogénesis del suelo.

Así tenemos suelos resultados de materiales transportados; estos suelos son derivados de materiales coluviales, originándose de materiales transportados por la fuerza de gravedad, y se han ido depositando y acumulándose en las laderas, en el fondo del valle y quebradas, su característica es que los materiales se han desplazado desde las cimas hasta la partes bajas encontrándose en las vertientes, son suelos de perfiles no profundos, y presentan muy poco desarrollo pedogenético, se encuentra en la parte alta de los terrenos de la comunidad y en las laderas que circundan en centro poblado.

Los suelos derivados de materiales aluviales se ubican en las zonas donde se ha acumulado mayoritariamente material con el paso del tiempo, resultando geoformas de terrazas aluviales, siendo suelos en algunos casos profundos, con débil desarrollo,

por ser considerados jóvenes en su formación, y que se caracterizan por tener una gradiente no tan inclinada.

También se ha identificado la presencia de suelos derivados de materiales orgánicos, son los suelos más jóvenes, con un desarrollo deficiente pedogenético, con alto contenido de materia orgánica, son suelos que están siendo utilizados como biohuertos por parte de un programa social de la empresa MARSÁ que realiza en la comunidad, gran parte de ellos han sido ocupados por las nuevas construcciones que se vienen realizando en el pueblo.

Finalmente, en la relación de suelos encontrados por su origen se tiene a los suelos derivados de materiales residuales, son suelos originados localmente por los efectos de la meteorización, a partir de la disgregación de rocas volcánicas, se encuentra ubicados en posiciones fisiográficas de montañas, sus características más notables son que se han desarrollado moderadamente, con una textura media a gruesa.

#### **4.1.5. Tiempo de la determinación de la génesis del suelo:**

En el proceso de la génesis del suelo, la formación de la variabilidad espacio temporal que se origina en la combinación de varios factores, secuenciales y alternos que suceden en el suelo y que son: el clima, la geomorfología, elementos bióticos y material original, que están influenciados por el tiempo, y que determina su acumulación y distribución de los diferentes elementos orgánicos e inorgánicos que formarán los diferentes perfiles del suelo.

Justamente este último, el tiempo cumple un papel importante en el desarrollo de los otros factores y que resultará para el desarrollo de una estructura y composición en los diferentes niveles o perfiles, con el contenido de diferentes elementos que forman parte del suelo. Es necesario el paso del tiempo para el desarrollo de los procesos de formación, su importancia es que influyen en la variación que experimentan las condiciones fisicoquímicas, que para que sucedan necesita del tiempo, así se determina los efectos de las reacciones pedogenéticas en el espacio temporal del origen del suelo.

En la acumulación de formación de los suelos del lugar donde se asienta el pueblo de Llacuabamba, los factores y procesos de formación del suelo son resultado de la actuación de la acumulación de materiales transportados por resultado de la meteorización, erosión, transporte y acumulación, con las reacciones pedogenéticas, que se han sucedido en el tiempo, dando lugar a una terraza aluvial con tres subniveles, que su formación ha sido definida a lo largo del tiempo.

En la formación de la terraza aluvial y sus tres subniveles donde se asienta el pueblo, el desarrollo del suelo independientemente al tiempo transcurrido, han existido otros factores ambientales, que han favorecido y retrasado el desarrollo del suelo, que son los siguientes:

El material permeable, no consolidado de fácil transporte, que se desliza por acción del viento, favorecido por la topografía de fuertes pendientes este material que fue meteorizado y erosionado, permitió la acumulación en la parte baja del material transportado dando lugar al desarrollo del suelo.

Las condiciones climáticas de fuertes precipitaciones en los meses de lluvia que comprende seis meses al año (noviembre a abril), que debido a su posición geográfica donde se ubica el pueblo, presenta una variabilidad de fuerte precipitación en el verano y seca en el mes de invierno, con fuerte radiación solar.

También existen otras condiciones en el desarrollo del suelo siendo las siguientes: El clima frío y variación de temperatura entre el día y la noche, que se acentúa más entre los meses de mayo a setiembre. El material impermeable con contenido de caliza y cuarzo presente en el suelo, y finalmente la topografía determinada con fuertes pendientes y elevadas.

Los suelos del centro poblado son considerados de origen aluvial joven, porque su tiempo de evolución de formación ha sido corto, donde la acumulación y distribución del contenido de arcilla, materia orgánica y carbonato de calcio se han depositado y desplazado en los diferentes perfiles edáficos a lo largo del tiempo, además son considerados del tipo parental aluvial, por el resultado del material transportado por el río de Llacuabamba según se pudo apreciar en el trabajo de campo.

#### **4.1.6. Factores hidrológicos y sedimentarios en la formación de suelos:**

Los factores hidrológicos en la formación de suelos, están determinados por las fuertes precipitaciones, el acarreo y el transporte de materiales debido a la capacidad del volumen o caudal de agua que puede discurrir por las quebradas o ríos; que resulto en la formación del suelo, debido a la erosión y al transporte de materiales, que fueron depositados acumulándose en el transcurso del tiempo. La zona de estudio ha sido influenciada por las avenidas y precipitaciones que comienzan en la temporada de lluvia entre los meses de noviembre hasta abril, durando seis meses de época húmeda y seis meses de época seca (ausencia de lluvias), registrándose la mayor cantidad de volumen de precipitación entre diciembre a marzo.

La microcuenca del río Llacuabamba está formada por tres cuerpos de agua en cabecera de cuenca, que son: Tres Lagunas, Laguna Negra y el embalse de Laguna Blanca, que se desplaza por la quebrada Ventanas y la quebrada Mush Mush, y aguas abajo se une con la quebrada Porvenir, que al juntarse forman la quebrada Shucape y luego recibe los afluentes de la quebrada Ventanas formando esta unión de quebradas el origen del río Llacuabamba, que en el margen derecho recibe aportes de la quebrada San Vicente y del río Huinchos que trae el agua de las quebradas Vizcacha, Quebrada Balcones y Pomachay.

Constituyen afluentes del río Llacuabamba, las quebradas siguientes: Quebrada La Castilla a una altitud 3560 msnm, con un caudal máximo de 0.372 m<sup>3</sup>/s y un caudal mínimo 0.017 m<sup>3</sup>/s, la quebrada La Paccha a una altitud de 3292 msnm, un caudal máximo de 0.136 m<sup>3</sup>/s, y mínimo de 0.006 m<sup>3</sup>/s, la zona de Tres lagunas a una altitud de 3866 msnm, con un caudal máximo de 0.283 m<sup>3</sup>/s y un caudal mínimo de 0.010 m<sup>3</sup>/s. La quebrada Ventanas a 3615 msnm, con un caudal máximo de 1.103 m<sup>3</sup>/s y caudal mínimo de 0.043 m<sup>3</sup>/s. El río Llacuabamba es afluente del río Parcoy.

Según la Autoridad Nacional de Agua (ANA), que categoriza a las Unidades Hidrográficas del Perú, la microcuenca de Llacuabamba, pertenece a la Región Hidrográfica del Amazonas de la vertiente del Atlántico, Intercuenca Alto Marañón, por lo cual existe una influencia hídrica en la formación del suelo en el valle del río

Llacuabamba, que ha sido determinado por la acción de la erosión y transporte, favorecido por las fuertes precipitaciones, siendo los flujos de agua un factor activo y asociado a la forma del relieve, ocasiono la sedimentación de los materiales acarreados, y fueron los agentes formadores de los perfiles del suelo, que finalizo con la acumulación y depósito de los sedimentos, disgregados y transportados de las roca madre.

El desplazamiento del río Llacuabamba a lo largo del tiempo ha formado la terraza aluvial donde se asienta el pueblo, siendo los suelos, resultado de una acumulación de materiales transportados y depositados en las diferentes épocas de máximas y mínimas del río en el transcurso de los años.

#### **4.1.7. Acción Antrópica en la ocupación y modificación del territorio donde se asienta el pueblo:**

Un factor en la formación y desarrollo de los suelos a tomarse en cuenta es la acción antrópica, que contribuirá con elementos, compuestos o materiales que formaran parte de contenido del suelo, y que reaccionaran con otros elementos o compuestos que estén presente en el suelo. Es así como el que hacer del hombre desde la ocupación de los terrenos empieza su modificación con la construcción de viviendas, cambios de uso del suelo, y el desarrollo de las actividades productivas, sumando al factor tiempo tendremos los resultados de la estructura y contenido de los perfiles del suelo.

La terraza aluvial donde se encuentra el pueblo de Llacuabamba constituida por sus tres niveles, ha sufrido una serie de modificaciones por el asentamiento de la población. Existen evidencias que la zona alrededor del pueblo eran terrenos con cobertura forestal, que han sido talados y quemados para su aprovechamiento como energía, construcción y minería, todavía se aprecian en algunas quebradas restos de algunos árboles longevos que son una prueba de la cobertura forestal pasada, esto origino la erosión de suelos al quedarse sin cobertura forestal y vegetal, sufrieron la acción del viento y de las fuertes precipitaciones, perdiéndose el nivel "O" de suelo el cual contiene de materia orgánica, posteriormente se perdió parte o todo del contenido de perfil "A", en algunos casos se observa en el terreno el proceso de pérdidas de la

superficie del suelo, causado por la erosión hídrica y eólica ha dejado, zonas donde se aprecia el material rocoso que evidencia la pérdida de suelo en los lugares de fuertes pendientes.

Los tres subniveles de la terraza aluvial cambiaron según la ocupación antrópica, porque se efectuaron prácticas agrícolas, crianza de ganado mayor y menor, actividad minera, remoción de suelos para la construcción de viviendas, en la actualidad la construcción de viviendas predomina en el proceso de ocupación del suelo, con la construcción de forma vertical de varios pisos y de material noble, que se vienen ejecutando sobre los suelos no consolidados, y sin las técnicas de construcción recomendadas en suelos inestables, representando un alto riesgo por el posible desplazamiento de tierras y venirse abajo, las nuevas construcciones, por falta de estudios de mecánica de suelos y trabajos técnicos de compactación del suelo, actividades obligatorias antes de realizar la construcción de viviendas de varios pisos.

Los primeros colonos llegados al pueblo de Llacuabamba llegaron en búsqueda de oro, por ser un pueblo con tradición minera. En la actualidad la extracción y beneficio del mineral es la principal actividad económica, en el orden siguiente:

- a) La mediana minera desarrollada por la empresa MARSA,
- b) La pequeña minería artesanal realizada por los 1,200 comuneros calificados titulares de la comunidad.
- c) La minería ilegal desarrollada por algunas personas en zonas no autorizadas, sin ningún permiso.

Sobre el beneficio del mineral la empresa formal cuenta con todos los permisos para operar su planta concentradora, la planta de cianuración y el depósito de relaves que forman parte del proceso metalúrgico.

Los comuneros calificados de la comunidad también están formalizados, cumplen con todas las medidas de cuidado ambiental, de seguridad y salud ocupacional; sin embargo, en el pueblo durante trabajo de campo realizado se han identificado aproximadamente 50 molinetes donde realizan el beneficio de mineral de

forma ilegal usando productos químicos cuya manipulación de manera irresponsable es un peligro para la salud y el ambiente.

El asentamiento poblacional y sus diferentes fases se han regido por la utilidad del suelo por los bienes económicos que puede generar de la localización de la construcción de las viviendas que ha sido de una manera desordenada y en zonas sin condiciones favorables. La formación de los barrios que existe actualmente en el pueblo se ha dado por el crecimiento poblacional y la necesidad de nuevas viviendas donde se asentado los pobladores adoptando características diferentes de la ocupación del suelo, por ejemplo el llamado barrio de Miraflores donde se encuentra viviendas con biohuertos familiares, el uso de suelo es diferentes a otros barrios del pueblo porque en esta zona se encuentran suelos con mejores aptitudes para desarrollo agrícola, que se viene usando el suelo para vivienda y producción agrícola con productos de hortalizas, a diferencia del barrio las Chilcas donde el uso del suelo es para vivienda, comercio, transporte y uso industrial de la actividad de minería, entre otros servicios vinculados a estas actividades económicas, que desde el punto de vista económico la valorización del suelo es mayor, debido a los servicios de actividades productivas que se desarrollan en este zona por su ubicación en la zona industrial económica del pueblo y dinamizada por la cercanía de las operaciones de la mina de MARSA.

La ocupación del territorio del pueblo ha sido sin planificación, existiendo un alto riesgo por las nuevas construcciones que se vienen edificando en los últimos cinco años, las cuales se están realizando sin ningún sentido de ordenamiento territorial, ocasionando una presión sobre el suelo debido al acelerado proceso de urbanización del pueblo, promovido por la bonanza económica de la actividad minera.

Las construcciones se están realizan en suelos no consolidados, resultados de la acumulación de sedimentos, que en la actualidad soportan construcciones verticales que son mayores de 4 a 5 pisos, esta forma de construcción de edificios del nuevo uso de suelo urbano es un alto riesgo, porque las construcciones no cuentan con estudios técnicos que permitan una adecuada cimentación de suelos, se construyen viviendas de varios pisos realizar sin construir buenos cimientos o bases que soporten el peso de viviendas de mayor altura, la falta de una adecuada planificación urbana, está

ocasionando un mayor desorden sobre el uso del suelo, que no está respetando la capacidad del acogida del espacio territorial del pueblo, y que puede producir deslizamientos del suelo, o hundimiento por el mayor peso que soporta el suelo, en recorrido por la zona de estudio se identificó un proceso de erosión de pérdidas del suelo en el sector correspondiente pasando el puente La Tahona, se observa un gran desnivel de deslizamiento del suelo, que está poniendo en riesgo las viviendas que se ubican en el barrio el Rosario, al frente del barrio Miraflores, el riesgo aumenta cuando se presentan fuertes precipitaciones que suceden en los meses de verano y que puede suceder un deslizamiento de remoción en masa.

#### **4.1.8. Evolución de la Formación de Suelos del Centro Poblado de Llacubamba:**

La edafogeoquímica en la evolución de la formación del suelo en el centro poblado de Llacubamba, se inició con el transporte de materiales por el río, y con la acumulación de las rocas, sedimentos al largo del tiempo, y que obligatoriamente han evolucionado dando lugar a un nuevo material que es el suelo, distribuido en tres niveles (terrazas aluviales).

La roca madre depositada ha sufrido cambios de masividad, composición química y su constitución mineralógica, la evolución de la presencia de arsénico, se puede analizar a partir de tres condicionantes:

- 1) La naturaleza del mineral de partida con contenido de arsénico (condiciones litológicas).
- 2) La acción de las condicionantes del medio físico como pH, temperatura del suelo y factores climáticos.
- 3) Los parámetros que regulan los elementos fisicoquímicos en el suelo como textura, granulometría y retención del agua.

La presencia de contenido de arsénico está determinada por los elementos fisicoquímicos de la alteración y de la edafogénesis dependiendo de otros factores como el agua, que se puede presentar por las precipitaciones, escorrentía superficial, o el agua contenida en el mismo suelo. Todo ello regulado por el pH, que tiene un efecto

en la concentración de protones, en la cantidad de sales solubles en el agua como en el suelo, que determina la liberación de los elementos químicos como el arsénico presente en el suelo (Méndez, 2012), que se origina en la roca madre meteorizada y transportada o por la extracción de esta por acciones de minado para la extracción de minerales.

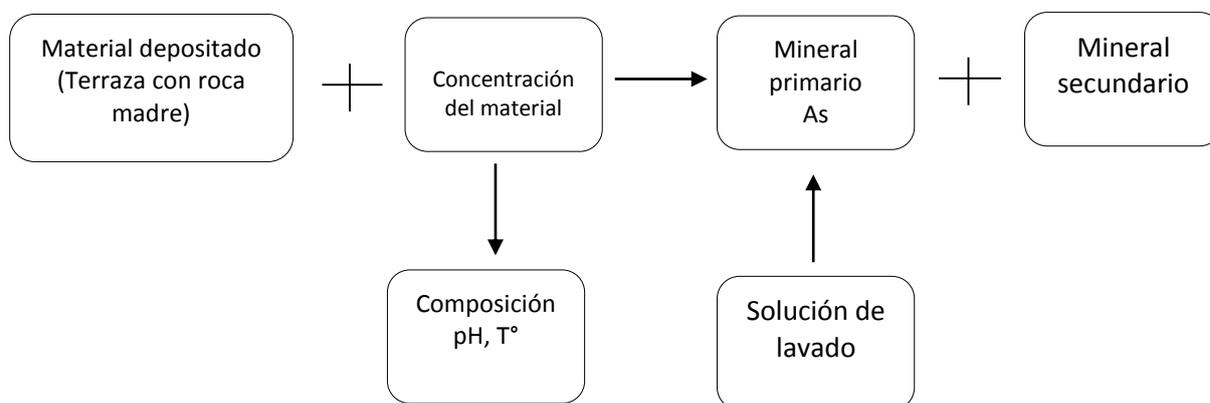


Figura 18. Fuente. **Basado en M. Bonneau y B. Souchier. 1987**

#### 4.2. Análisis de la Calidad del Suelo:

El realizar un análisis de la calidad del suelo se puede determinar de diferentes formas, una de ellas es la contaminación de suelos desde la perspectiva legal y la otra con criterios académicos. La primera es establecida por los Estándares de Calidad de Suelo ECAs en el cual han sido normados los diferentes parámetros de acuerdo con el D.S. N° 011-2017-MINAM y que es aplicable para todo tipo de actividad económica, proyecto urbano, industrial o agrícola que pueda generar riesgos de la variación del suelo, siendo considerada bajo el término de contaminación de suelos. La segunda que usa criterios académicos analiza las propiedades intrínsecas del suelo, la aptitud del suelo para realizar determinadas funciones, la clase de uso del territorio, porque un suelo puede tener un alto valor para cultivos de pastos y otro para el lugar de asentamiento humano.

Una definición muy válida y aceptada por los especialistas en el estudio de suelos para definir la calidad de los suelos es la Soil Quality Institute, que concluye; Que un suelo de calidad es aquel que promueve la productividad sin deteriorarse, tiene

capacidad de amortiguación de contaminantes ambientales y patógenos, y que favorece la salud de las plantas, animales y las personas. (Doran y Parkin, 1994).

La calidad del suelo puede ser determinada desde que no excedan los estándares de los diferentes parámetros fijados por la ley, o por sus condiciones fisicoquímicas que no afecten la capacidad de producirse alimento o ser el sustento de plantas, contribuyendo al mantenimiento y los procesos ecológicos.

En el lugar donde se asienta el centro poblado de Llacuabamba, el uso del suelo se divide en tres tipos:

- a) Uso industrial en la zona donde se ubican las instalaciones de minera MARSA, en el sector de Las Chilcas.
- b) La zona urbana donde están los diferentes barrios que conforman el pueblo.
- c) El tercer sector conformado por las áreas periféricas donde existen viviendas rurales con terrenos de uso agrícola (biohuertos familiares).

Para determinar la calidad del suelo por presencia de arsénico se utilizó el parámetro fijado en el D.S. N° 011-2017-MINAM, que para uso agrícola y residencial es 50 mg/Kg PS (peso seco) de Arsénico Total. Para suelo de uso industrial y extractivo sobre todo donde la empresa realiza sus operaciones de extracción de minerales y cuenta con una serie de equipos, instalaciones en el centro poblado del barrio Las Chilcas se usó el parámetro de 140 mg/Kg PS de Arsénico Total.

Cuadro 20.  
Estándar de Calidad de Suelo para el Parámetro de Arsénico

Parámetro en Mg/Kg PS	USOS DEL SUELO			Métodos de Ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/Industrial/ Extractivo	
Arsénico	50	50	140	EPA 3050/ EPA 3051

Fuente. *D.S. N° 011-2017-MINAM. 2017.*

#### **4.2.1. Tipo de Muestreo**

Para la toma de muestras de suelos la ubicación de puntos de muestreos se ha empleado el método geográfico de localización, basado en el levantamiento cartográfico de área de estudio, que permite identificar las geoformas del terreno, la obtención de información y observación de campo de las áreas más representativas del territorio comunal.

El área del centro poblado tiene una extensión aproximada de 32.50 hectáreas, para lo cual se ha considerado 20 puntos de toma de muestras, basada en los criterios indicados en el párrafo precedente. Es importante mencionar que ha sido importante considerar las divisiones de los cambios del paisaje, el tipo de suelo y el subnivel de las terrazas aluviales presentes en el territorio del centro poblado.

#### **4.2.2 Localización de los Puntos de Muestreo**

Siguiendo el método geográfico de localización, se tomó en cuenta la unidad de suelo que pertenece la zona de estudio que son terrenos formados por la acumulación y desplazamiento de cauce del río Llacuabamba, que comprende a una gran terraza aluvial de tres niveles, formada por los materiales arrastrados y depositados en el tiempo por las crecidas históricas del río Llacuabamba, su pendiente en el cauce es moderada inclinada a extremadamente inclinada cuando nos alejamos del cauce, el suelo ha sido resultado de las disposiciones de materiales gruesos, como gravas, guijarros y piedras, como también de arenas, que al realizar las calicatas de encuentra los perfiles de suelos con contenido alto porcentaje de arena, y en otras zonas predominan las piedras de río, resultados de erosión de las rocas metamórficas y sedimentarias.

Considerando la unidad de suelo que se califica al terreno, los cambios de paisaje, y las geoformas del relieve, se ubicaron los veinte puntos de toma de muestras de suelo, en diferentes áreas, para que sea representativo y conocer la presencia y cantidad de arsénico en los suelos del pueblo.

Los puntos de muestreo se han dividido en tres zonas, que son las siguientes:

- Zona Pueblo Urbana donde se ubicaron un total de 9 puntos de muestreo.
- Zona Industrial Urbano donde se ubicaron un total 5 puntos de muestreo.
- Zona Rural Vivienda donde se ubicaron un total de 6 puntos de toma de muestreo.

Con los 20 puntos de muestreo distribuidos en las tres zonas señaladas, se logró determinar la presencia y cantidad de arsénico en el suelo.

Cuadro 21  
Puntos de Muestreo de Suelos

N° de Punto	Categoría de la Zona del Pueblo	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S	
		Este	Norte
1	Rural / Vivienda	228798	9112224
2	Rural / Vivienda	228863	9112140
3	Rural / Vivienda	228991	9111959
4	Rural / Vivienda	229108	9111735
5	Pueblo / Urbano	228782	9111517
6	Pueblo / Urbano	229073	9111429
7	Pueblo / Urbano	229247	9111334
8	Pueblo / Urbano	229376	9111206
9	Pueblo / Urbano	229104	9111196
10	Pueblo / Urbano	229529	9111118
11	Pueblo / Urbano	229459	9110974
12	Rural / Vivienda	229255	9110908
13	Pueblo / Urbano	229700	9110977
14	Rural / Vivienda	229509	9110790
15	Pueblo / Urbano	229726	9110758
16	Industrial / Urbano	230029	9110674
17	Industrial / Urbano	230183	9110621
18	Industrial / Urbano	230063	9110508
19	Industrial / Urbano	230379	9110565
20	Industrial / Urbano	230521	9110510

Fuente. *Elaboración propia.*

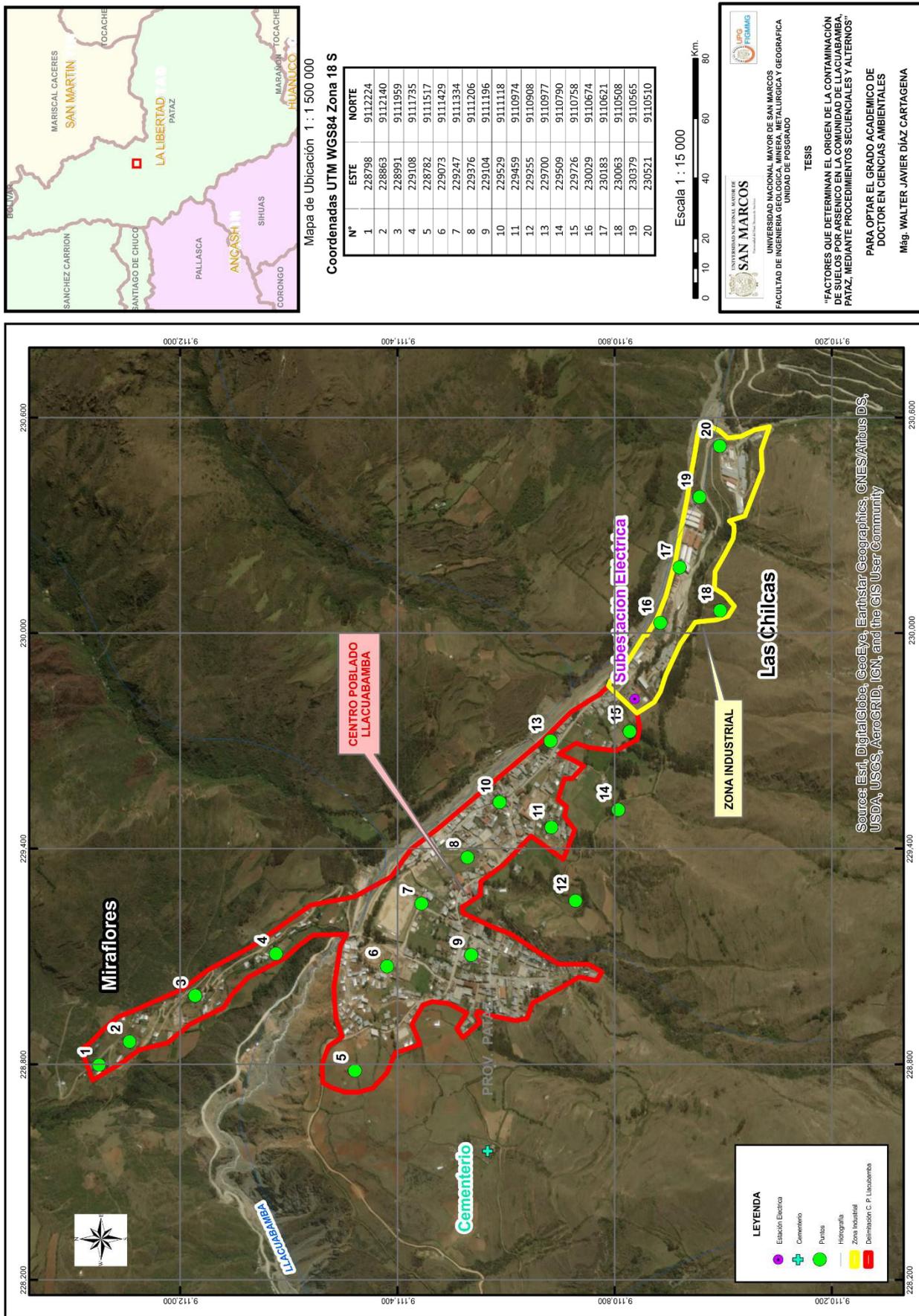


Figura 19. Mapa de ubicación de puntos de muestreo. Fuente. Propia.

### **4.2.3. Tipos de Muestras y Profundidad.**

Las muestras que se tomaron fueron de dos tipos:

- Muestra simple.
- Muestra compuesta.

La obtención de las muestras simples que se obtuvieron fue colectada en un tiempo determinado y un lugar georreferenciado, siendo una muestra directa y puntual que nos permitió precisar el contenido de arsénico en el suelo; las muestras se obtuvieron en las zonas pueblo/urbano, industrial/urbano porque el contenido del elemento químico analizar esta estable por su larga permanencia en el suelo.

Las muestras compuestas que se tomaron fueron en la zona rural/vivienda porque son suelos donde el terreno comprende a la vivienda con su pequeña área agrícola de la siembra de biohuertos familiares y que constantemente en el tiempo son removidos, por lo que las muestras obtenidas en estos puntos se mezclaron con cuatro submuestras simples del área destinada para la siembra de hortalizas, las muestras fueron tomadas a la misma profundidad considerando el horizonte del suelo, y luego se homogenizaron, seguido del procedimiento del cuarteo para la partición de la muestra para que sean representativas del área del terreno, finalmente se embolsado y su respectiva rotulación con su cadena de custodia para el análisis en el laboratorio.

Para la presente investigación las muestras obtenidas fueron tomadas a una profundidad de 30 centímetros, dado que en suelos contaminados la acción de la materia orgánica y vegetales tienen un efecto en la neutralización y precipitación del contaminante que se extiende entre 0 a 40 centímetros, es así que al existir el contaminante a este nivel las muestras obtenidas a 30 centímetros de profundidad nos permiten determinar la representatividad de la muestra en el perfil del suelo para conocer el contenido de arsénico.

### **4.2.4. Recolección de las Muestras:**

Se tomaron las medidas de seguridad de un adecuado procedimiento para evitar toda alteración y tener muestras representativas del área de estudio. En la recolección

de las muestras en cada punto se efectuó la medición de los parámetros de campo como: Temperatura, pH, olor, color (según Munsell), textura y compactación

Efectuándose la recolección de un total de 20 puntos de muestreo, en las 32.5 hectáreas que comprende el centro de poblado de la comunidad campesina de Llacuabamba.

### 4.3. Presencia de Arsénico en el Suelo Analizado:

Los resultados de la calidad del suelo en relación con la presencia de arsénico en el centro poblado de Llacuabamba fueron los siguientes:

Cuadro 22

*Resultados del Muestreo de Suelo de la Zona Rural*

Parámetros	Unidad	ECA	Estaciones de Monitoreo					
			Est. 1	Est.2	Est. 3	Est. 4	Est. 12	Est. 14
pH			6,5	6,6	6,6	6,7	6,7	6,3
Olor			Tierra húmeda	Tierra húmeda	Tierra húmeda	Tierra húmeda	Característico natural	Característico natural
Color*			Café rojizo	Café rojizo	Café rojizo	Café rojizo	Café claro	Café claro
Temperatura	°C		16,8	17,2	17,4	17,9	16,5	16,4
Textura			Arcilloso	Arcilloso	Franco arenoso	Franco arenoso	Arcilloso	Arcilloso
Compactación			Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	Semiduro	Semiduro
Humedad			Semihúmedo	Semihúmedo	Semihúmedo	Semihúmedo	Seco	Seco
Arsénico	mg/kg	50 mg/Kg PS	35,46	30,50	23,00	29,78	60,10	63,40

\*Según la tabla de colores de Munsell.

Fuente. *Elaboración Propia*

Cuadro 23  
Resultados del Muestreo de Suelo de la Zona Industrial

Parámetros	Unidad	Estaciones de Monitoreo					
		ECA	Est. 16	Est. 17	Est. 18	Est. 19	Est. 20
pH			4,6	4,7	4,5	4,3	4,5
Olor			Característico natural	Tierra húmeda	Característico natural	Característico natural	Característico natural
Color*			Café	Café	Café	Café	Café claro
Temperatura	°C		17,8	16,4	17,5	17,5	16,5
Textura			Arena Franca	Arena Franca	Arena Franca	Arena Franca	Arena Franca
Compactación			Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto
Humedad			Semihúmedo	Semihúmedo	Semihúmedo	Semihúmedo	Semihúmedo
Arsénico	mg/kg	140	653.20	310.20	589.10	420.30	390.00
		mg/Kg					
		PS					

\*Según la tabla de colores de Munsell.

Fuente. *Elaboración Propia*

Cuadro 24  
Resultados del Muestreo de Suelo de la Zona Urbana.

Parámetros	Unidad	Estaciones de Monitoreo									
		EC A	Est. 5	Est. 6	Est. 7	Est. 8	Est. 9	Est. 10	Est. 11	Est. 13	Est. 15
pH			5,4	5,1	5,7	5,3	5,3	5,4	5,2	5,1	5,2
Olor			Característico natural	Característico natural	Característico natural	Tierra húmeda	Tierra húmeda	Característico natural	Característico natural	Tierra húmeda	Tierra húmeda
Color*			Café rojizo	Café rojizo	Café rojizo	Café rojizo	Café claro	Café rojizo	Café rojizo	Café claro	Café rojizo
Temperatura	°C		17,8	17,6	17,6	17,7	17,2	17,1	17,6	17,2	17,3
Textura			Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso
Compactación			Semiduro	Semiduro	Duro	Duro	Duro	Semiduro	Duro	Semiduro	Semiduro
Humedad			Semihúmedo	Semihúmedo	Seco	Seco	Seco	Semihúmedo	Seco	Húmedo	Semihúmedo
Arsénico	mg/kg	50	100,00	150,00	98,00	120,00	110,00	110,00	100,00	96,00	115,00
		mg/Kg									
		PS									

\*Según la tabla de colores de Munsell.

Fuente. *Elaboración Propia*

#### **4.3.1. Influencia de los factores que condicionan en el contenido y distribución del arsénico en el suelo:**

La distribución y presencia de arsénico en el suelo depende de los factores siguientes:

- pH
- Temperatura
- Conductividad eléctrica.
- Intercambio catiónico.
- Agua en el suelo.
- Cantidad de arcilla
- Reducción redox.

Estos factores determinan la distribución, retención y cantidad de arsénico en el suelo, dando la capacidad al suelo para absorber el arsénico, que depende de la combinación de estos factores, por ejemplo el pH va a favorecer o disminuir la liberación de iones, con el intercambio de carga que se favorece por la conductividad eléctrica, y el proceso de óxido reducción que ocurre en el suelo, todo ello permite la absorción del arsénico, así como las posibles reacciones por el contenido del agua y temperatura del suelo que contribuye a la lixiviación y volatilización en el suelo.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en las tres zonas clasificadas:

- Zona rural.
- Zona industrial.
- Zona urbana.

#### **A.- Zona rural contenido de arsénico en el suelo:**

En la zona rural el nivel del contenido de arsénico total evaluado ha sido en seis puntos de muestreo siendo estos los siguientes: Estación 1, Estación 2, Estación 3, Estación 4, Estación 12 y Estación 14. De las seis estaciones de muestreo solamente dos estaciones exceden el estándar de calidad ambiental para suelos, para el arsénico total (50 mg/Kg). La Estación 12 con un valor 60,1 mg/Kg, y la Estación 14 con un

valor 63,4 mg/Kg, en los otros cuatro puntos las concentraciones de arsénico total se encuentran por debajo del estándar establecido.

Entre los factores analizados se tiene que la humedad del suelo determina el contenido de agua, con el pH ligeramente ácido que tiene un rango de 6,3 a 6,7, se tiene que en las muestras de las estaciones 1 a 4 el rango de arsénico es de 23 a 30,5 mg/Kg. El pH nos indica que son suelos ácidos (para el suelo valores de pH bajo 7 son considerados ácidos), la absorción y desorción de arsénico se presenta considerablemente estable, incidiendo en la biodisponibilidad y desplazamiento del metaloide en los perfiles del suelo y su ingreso a la cadena trófica (Mandal y Suzuki, 2002). El rango obtenido en el pH nos informa sobre la actividad de los iones de los constituyentes órgano-minerales del suelo, sin embargo en las estaciones 12 y 14 donde la presencia de arsénico total es de 60,10 y 63,40 mg/Kg respectivamente (superando el ECA de suelo de 50 mg/Kg), el suelo presenta otros factores como su textura que es franco arenoso y semiduro, y con baja humedad siendo un suelo seco, son estos factores que han favorecido a la absorción en el suelo de la retención de arsénico debido a no existir agua no hay disolución de los iones del agua que se presenta en sales minerales, siendo precipitados a los coloides presente en el suelo.

Los suelos de la zona rural por el alto porcentaje de arcilla tienen una alta capacidad de intercambio catiónico, que permite liberar los iones de arsénico, cumpliendo el pH una acción reguladora, que favorece la capacidad de intercambio, el origen del arsénico y su asociación procede de los minerales auríferos como de la arsenopirita  $\text{FeAsS}$ , que contiene 46% de arsénico, y que al contener fierro favorece los enlaces, mediante la precipitación. La permanencia en el suelo del arsénico se asocia a otros elementos como el hierro y azufre, también resultantes de la arsenopirita, el proceso se acelera en su liberación y adsorción por efecto de la reducción redox y sumado a la presencia del agua en el suelo y el nivel del pH que permiten la liberación de los minerales presentes en la arsenopirita, en los diferentes niveles del suelo.

La arcilla también favorece a la variabilidad de la retención del agua, que modifica el pH, el almacenamiento o absorción de las sales minerales, el intercambio catiónico, la movilidad y captación del arsénico en los coloides del suelo. La variabilidad de encontrar mayor o menor cantidad de arsénico se determina por el

contenido de materia orgánica y el pH que en el caso de ser neutro regula la existencia del contenido del metaloide en el suelo. El intercambio entre un catión y un protón no se ha visto favorecido porque las arcillas no han estado saturadas para absorción del arsénico, y por lo tanto han sido regulada por el pH, que se modifica por la gran cantidad de materia orgánica en los suelos rurales, y que disminuye la realización del intercambio catiónico, porque la absorción de cationes orgánicos se trata de un enlace electrostático en la cual interviene el pH, naturaleza de la arcilla, contenido de materia orgánica y el catión compensador.

El cuadro N° 25, compara las estaciones de muestreo con los resultados de contenido de arsénico en cada una de ellas y su relación con el pH, observándose que en la estación 1 el pH es de 6,5 y en la estación 14 el pH es de 6,3 ligeramente inferior sin embargo, el contenido de arsénico es de mayor cantidad en la estación 14, es importante anotar que a diferencia de la influencia del pH en el agua con el contenido de metales pesados que es directa, en el caso del suelo intervienen los otros factores señalados anteriormente, no siendo solamente determinante la cantidad del potencial de hidrógeno para liberación de los metales o metaloides como el arsénico, sino resultado del accionar de los siguientes factores: conductividad eléctrica, temperatura, intercambio catiónico, cantidad de agua, presencia de arcilla y reducción de oxidación.

Cuadro 25  
*Resultados de Arsénico y pH – Zona Rural*

<b>Estaciones</b>	<b>Est. 1</b>	<b>Est.2</b>	<b>Est. 3</b>	<b>Est. 4</b>	<b>Est. 12</b>	<b>Est. 14</b>
<b>As (mg/Kg)</b>	35.46	30.5	23	29.78	60.1	63.4
<b>pH</b>	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.3
<b>ECA – As (mg/Kg)</b>	50	50	50	50	50	50

Fuente. *Elaboración propia*

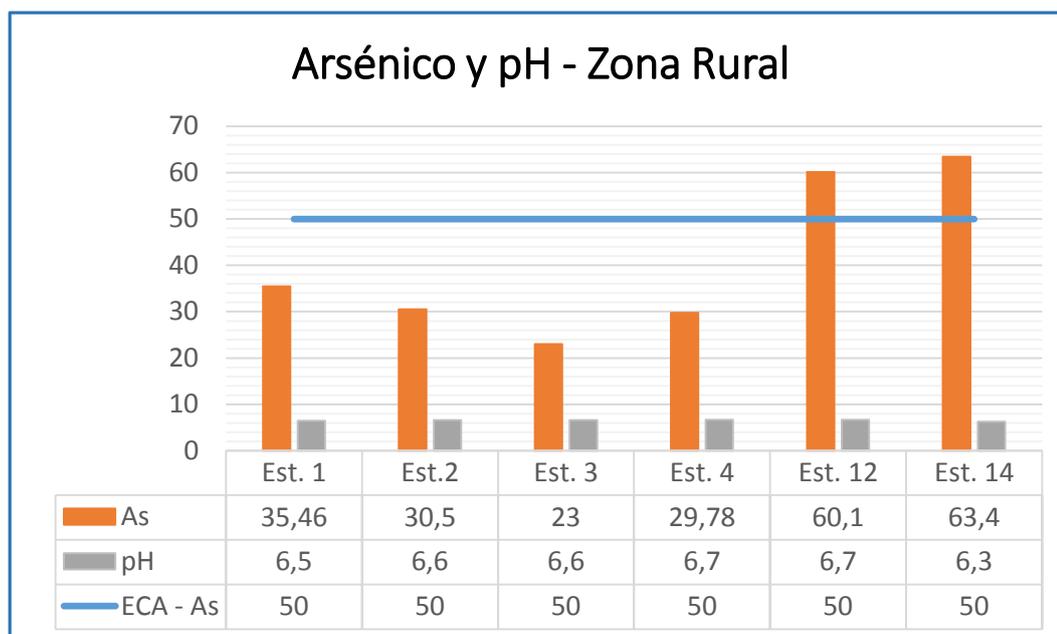


Figura 20. *Arsénico y Ph, Zona rural*. Fuente. *Propia*

Según el gráfico N° 20 solo en dos estaciones de seis existe contaminación de suelos con arsénico y son las estaciones 12 y 14, que superan el estándar de calidad de suelo fijado para suelo de zona rural en el Perú.

En la zona rural la presencia de arsénico ha sido menor debido a la actividad agrícola, y a la abundancia de materia orgánica, es una comprobación que la intensidad de los factores en su interacción y su combinación determina las características y presencia de arsénico en el suelo. Tal como se apreció en el trabajo de campo los horizontes A y B de esta zona han sufrido muchos cambios debido al trabajo de remoción y producción de los suelos, sobre todos los que son usados con fines agrícolas, los residuos, la acumulación de la materia orgánica de los residuos vegetales, todos ellos depositados en la superficie en los primeros 40 centímetros han servido para la precipitación del arsénico y disminuir su volumen presente en el suelo.

### **B.- Zona industrial contenido de arsénico en el suelo:**

La zona industrial del centro poblado de Llacuabamba presenta los índices más altos de presencia de arsénico en el suelo, el cuál excede el parámetro de calidad ambiental establecidos en el D.S. N° 011-2017- MINAM, que es 140 mg/kg que es

más del doble del valor fijado para el ECA de la zona rural y urbana. La estación 16 presenta 653,2 mg/Kg siendo el valor más alto de todas las estaciones de la zona, la estación 17 obtuvo un valor de 310 mg/Kg, la estación 18 un valor de 589,10 mg/Kg, la estación 19 contenía 420,3 mg/Kg, y la estación 20 con un valor de 390 mg/Kg de arsénico.

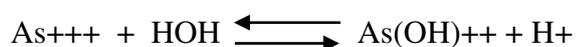
El alto contenido de arsénico en la zona industrial se relaciona con el pH ácido del suelo, encontrándose desde la Estación 16 con unidades de 4,6 pH, la Estación 17 con un valor de 4,7 de pH, la Estación 18 con 4,5 de pH, la Estación 19 con un valor de 4.3 pH (siendo el pH más ácido), Estación 20 con 4,5 de pH, todas las estaciones tienen el pH ácido, lo cual ha favorecido el intercambio catiónico para liberar los iones de arsénico, sumado a la falta de materia orgánica en el suelo, la textura de arena franca, la dureza del suelo y la poca humedad en el suelo, siendo los factores determinantes para la liberación y depósito del arsénico en toda esta zona.

El comportamiento del arsénico se ha movilizado por la variación del rango de la acidez del pH de 4,3 a 4,7, siendo distribuido en mayor concentración en la parte superior del suelo, por la ausencia de materia orgánica en el suelo, y por el endurecimiento del suelo favoreciendo su permanencia. El proceso de sorción y desorción del arsénico presente en esta zona por la acidez del suelo ha ocasionado una sorción entre 40 a 50 % en los coloides del suelo para retención del arsénico, estas condiciones del medio como el pH, y el potencial redox, inciden sobre la biodisponibilidad, favoreciendo además todo el proceso de sorción, por ser un suelo ácido.

El arsénico retenido en el suelo, está formando complejos de esfera interna en el suelo favorecido por la acidez del suelo y los componentes de carga positiva, que regulan la biodisponibilidad y toxicidad del metaloide. Al no existir cobertura vegetal en esta zona del centro poblado, y el alto tránsito de vehículos y personas, la distribución del elemento contaminante es favorecida por la acción del viento que transporta el polvo y ocasiona su desplazamiento en toda la zona.

La alta cantidad de arsénico encontrada en los suelos de la zona industrial nos sugiere que el elemento se encuentra en una forma intercambiable a causa del medio

ácido del suelo que presenta el valor de 4 de pH. El ion As se ha integrado al suelo, el cuál puede variar por reacciones si se aumenta el pH, según lo señala Bonneau en su ecuación química, el papel de los iones es importante en la evolución de la presencia del As como un elemento tóxico en el suelo, que también depende de las valencias que puede presentar el arsénico en sus estados de oxidación, en su valencia cero es la primera en su estado de oxidación, en la valencia más tres es un arsenito, en valencia más cinco es un arseniato, en forma de estado de gas recibe el nombre de arsina con una valencia menos tres (Fernández, Beatriz, 2015), la forma más abundante de encontrarlo en el medio natural es en arseniato, asociado a sulfosales, siendo el más toxico es su estado inorgánico de trivalente a pentavalente.



Fuente. *Bonneau, 1987*

La zona industrial del pueblo es una zona crítica ambientalmente por el alto contenido de arsénico en los suelos, con una variación entre la Estación 20 con 390 mg/kg de arsénico total hasta 653,20 mg/Kg en la Estación 15. La capacidad de esta zona del pueblo que presentan los suelos para absorber el arsénico tal como se ha señalado anteriormente está influenciada por el pH, seguido por la falta de materia orgánica en el suelo, su textura y porosidad.

La geología local de la mineralización en el distrito de Parcoy, Gigante y Buldibuyo corresponde a la arsenopirita que es más abundante, seguida de la calcopirita, pirrotita y galena, todos contienen arsénico, por ejemplo, la arsenopirita FeAsS que contiene un 46% de arsénico, 34,3% de hierro y un 19.7% de azufre, que en presencia del Fe<sup>3+</sup> y agua se produce la siguiente reacción:



Fuente. *Nriagu, 2007.*

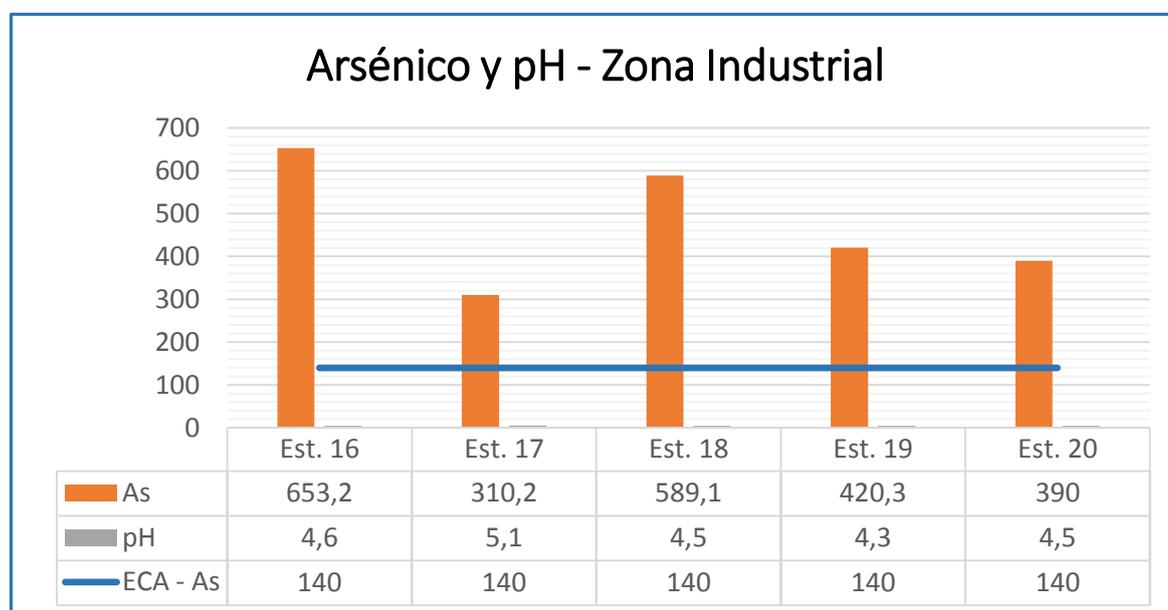
Teniendo como resultado la reacción química para la liberación de arsénico contenido en la arsenopirita, porque la oxidación de Fe<sup>3+</sup> es más rápida, favorecida

por el oxígeno, formándose  $H_3AsO_4$  acuoso, produciéndose la liberación del contenido de arsénico al suelo (Nriagu, 2007), con ello se explica la presencia de arsénico en esta zona industrial de la comunidad.

Cuadro 26

Resultados de Arsénico y pH – Zona Industrial

Estaciones	Est. 16	Est. 17	Est. 18	Est. 19	Est. 20
As (mg/Kg)	653.2	310.2	589.1	420.3	390
pH	4.6	4.7	4.5	4.3	4.5
ECA – As	140	140	140	140	140

Fuente. *Elaboración propia*Figura 21. *Arsénico y Ph, Zona Industrial.* Fuente. *Elaboración propia*

La zona industrial es donde se concentra la mayor cantidad de arsénico en todo el pueblo, y es el barrio llamado Las Chilcas, donde la empresa minera, realiza sus operaciones de extracción de mineral. Se debe precisar que en esta zona no se realiza beneficio del mineral.

### **C.- Zona Urbana contenido de arsénico en el suelo:**

En la zona urbana se ubicaron seis estaciones de muestreo de suelos, de las cuales todas superaron del estándar de calidad de suelo fijado para suelos urbanos. La

estación con mayor cantidad de arsénico encontrado fue la estación N° 6 con una cantidad de 150 mg/Kg, y con un pH de 5,1 unidades también el más bajo de todas las estaciones, la estación N° 7 presento la cantidad menor de la zona urbana con un valor de 98 mg/kg de arsénico total y con un pH de 5,7 unidades siendo ligeramente más alto que el anterior, existe una relación de regulación entre la cantidad de carga del elemento contaminante y el accionar regulador del valor del pH, los resultados de todas las estaciones se puede apreciar en el cuadro N° 27.

La formación en el tiempo del suelo y el origen del arsénico en esta zona del pueblo están relacionada, el suelo se origina por la acumulación de material disgregado transportado por la erosión hídrica, seguido por la acumulación y compactación, donde se asentaron las viviendas que hoy representan la zona urbana y céntrica del pueblo. El suelo a ser resultado de la acumulación de materiales y sedimentos transportados han heredado los minerales desprendidos de la roca madre, transportados por el agua, al depositarse en la evolución del suelo intervinieron otros factores que determinaron las características particulares del suelo como, por ejemplo; la materia orgánica con el contenido de los organismos vivos que son formadores del suelo, acción del clima, la pendiente del terreno, entre los principales factores.

Los otros factores que permitieron que el metaloide esté presente en la zona urbana del pueblo superando el estándar de calidad ambiental de suelo son:

- a) La configuración del terreno por la topografía y geomorfología del relieve.
- b) Los productos químicos y físicos utilizados para el manejo del suelo.
- c) Las actividades humanas en relación a la ocupación y uso del suelo.

Todo lo anterior señalado son factores integrados para explicar la presencia del arsénico en esta parte del centro poblado, es preciso mencionar que el accionar humano ha sido también responsable en el contenido y estado actual de contaminación del suelo.

En la zona urbana del pueblo no hay actividad minera de extracción, sin embargo, existen más de 50 molinetes al interior de las viviendas de manera clandestina que realizan actividades de beneficio de minerales donde disgregan las

rocas mineralizadas con agua; esta molienda libera elementos químicos que contienen las rocas que reaccionan con el agua terminando los residuos vertidos en el desagüe y otra parte en el suelo; por esta práctica de beneficio de minerales de manera artesanal, ha contribuido a la liberación de arsénico en esta zona del centro poblado.

El análisis de los suelos evidenció que la capacidad que presentan estos suelos para absorber el arsénico, es debido a la textura y la porosidad, por ello su absorción es más elevada; adicionalmente la presencia de arcilla favorece a la retención del arsénico en los perfiles A y B del suelo.

Cuadro 27  
Resultados de Arsénico y pH – Zona Urbana

Estaciones	Est. 5	Est. 6	Est. 7	Est. 8	Est. 9	Est. 10
As	100	150	98	120	110	113
pH	5.4	5.1	5.7	5.3	5.3	5.4
ECA – As	50	50	50	50	50	50

Fuente. *Elaboración propia*

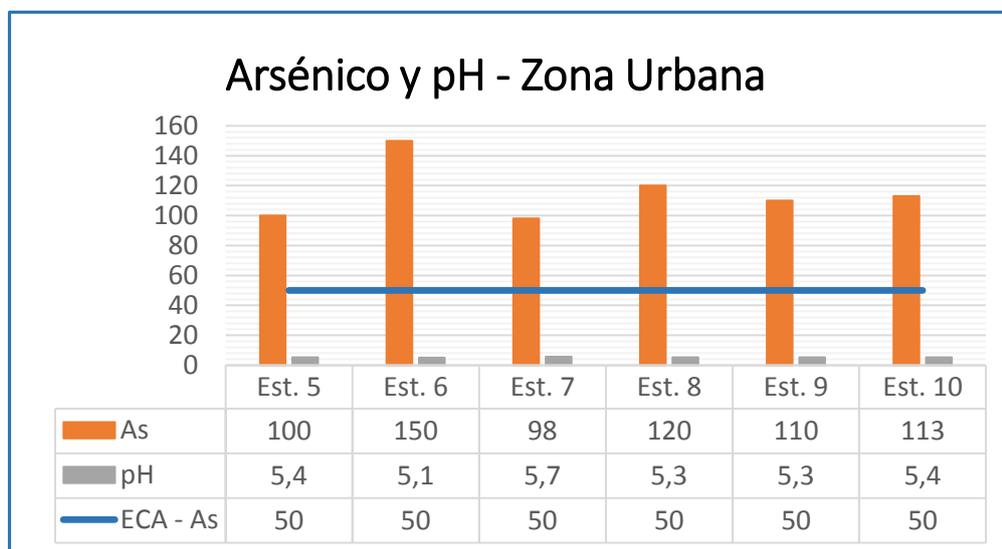


Figura 22. *Arsénico y pH*. Fuente. *Propia*

#### 4.3.2. Distribución y comparación del arsénico en los suelos de las tres zonas del centro poblado de Llacuabamba.

La información que nos proporciona la figura N° 23, son los resultados del estudio realizado sobre la presencia del mineral arsénico, encontrado en los suelos de la Comunidad de Llacuabamba en las tres zonas de estudio (zona Industrial, Rural y Urbana), en consideración el valor del parámetro de arsénico establecido en el D.S. N° 011-2017-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental-ECA de suelos normados por el Ministerio del Ambiente.

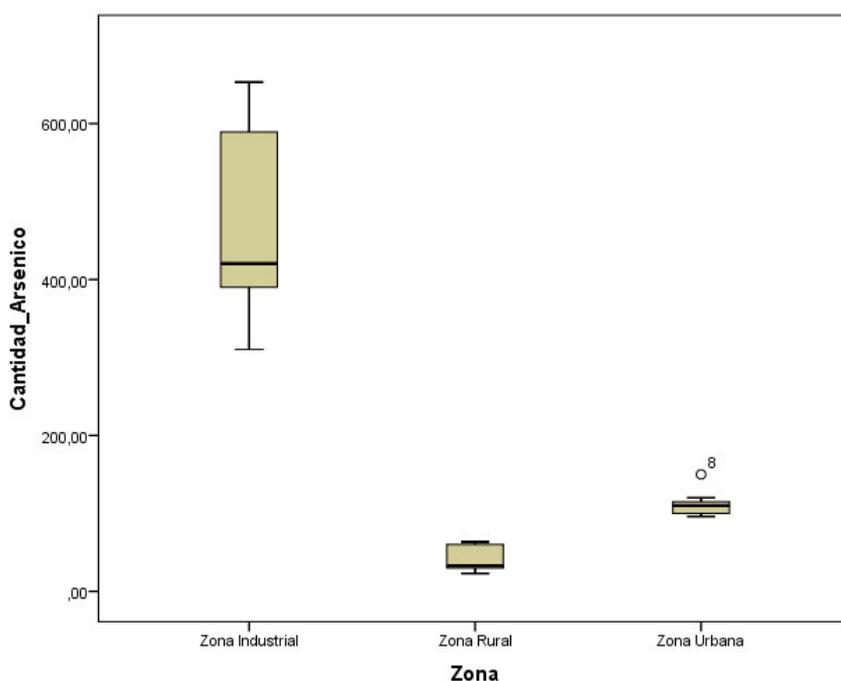


Figura 23. *Distribución de la cantidad de Arsénico, según la Zona del Centro Poblado Llacuabamba.* Fuente. *Propia*

La zona Industrial, representada con la primera caja de la izquierda del gráfico, muestra la cantidad de arsénico encontrado en el suelo cuya variabilidad es mayor que las zonas rural y urbana. Como la parte alta de la caja es mayor que la parte baja, ello quiere decir que la cantidad de arsénico comprendido entre el 50% y 75% de esta zona es más dispersa que entre el 25% y el 50%. En efecto, la cantidad mínima es de 310,20 mg/kg y la cantidad máxima de 653,20 mg/kg., con un rango de 343,0 mg/kg. Asimismo, la media aritmética de arsénico presenta una cantidad de 472,56 mg/kg y su grado de dispersión, 143,28 mg/kg con respecto al valor de la media aritmética.

Asimismo, nos informa que la zona urbana presenta como cantidad mínima de 96,0 mg/kg y cantidad máxima de 150,0 mg/kg., con un rango de 54,0 mg/kg. Asimismo, la media aritmética de arsénico presenta una cantidad de 111,33 mg/kg y su grado de dispersión, 16,80 mg/kg con respecto al valor de la media aritmética.

Del mismo modo, nos informa que la zona rural presenta como cantidad mínima de 23,0 mg/kg y cantidad máxima de 63,40 mg/kg., con un rango de 40,40 mg/kg. Asimismo, la media aritmética de arsénico presenta una cantidad de 40,37 mg/kg y su grado de dispersión, 17,06 mg/kg con respecto al valor de la media aritmética.

En estas dos últimas zonas se han encontrado cantidades de arsénico más homogéneas, es decir, con menores grados de dispersión que la zona industrial. Siendo la zona rural con el menor rango de cantidad de arsénico, con respecto a los rangos de arsénico encontradas en las otras dos zonas.

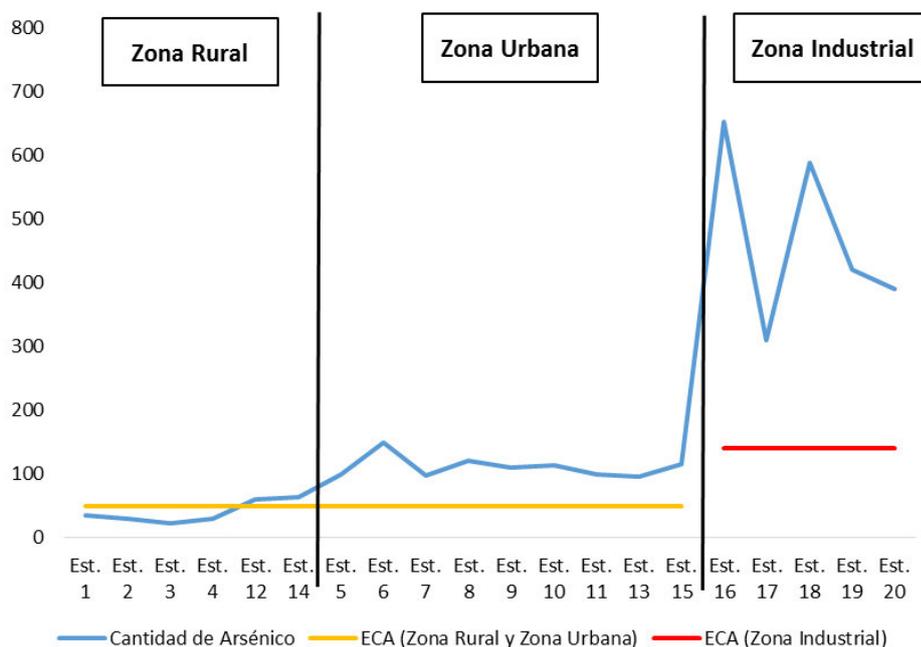


Figura 24. *Comparativo de la Cantidad de Arsénico en suelo y los ECA establecidos para cada Zona del centro Poblado de Llacuabamba.* Fuente. *Propia*

La figura N° 24, presenta de manera comparativa la cantidad de arsénico y el Estándar de Calidad Ambiental-ECA regulados por el MINAM para cada una de las tres zonas.

En la zona rural se tiene la cantidad de arsénico en promedio (40,37 mg/kg) que es menor que el límite admisible fijado en el ECA (50 mg/kg) en -23,85%. Sin embargo, en los puntos 12 y 14 sobrepasa los límites referenciales del ECA.

En la zona urbana, las cantidades del mineral arsénico tomados del suelo, muestran un comportamiento creciente cuyo promedio (111,33 mg/kg) está por encima del límite fijado por el ECA suelo (50,0 mg/kg) en un porcentaje de 122,66%, tal cantidad representa un grave peligro para la salud de los pobladores que residen en esta zona del pueblo, porque excede el estándar de calidad ambiental.

De igual forma para la zona Industrial las cantidades del mineral arsénico encontrados del suelo, muestran un comportamiento creciente cuyo promedio (472,56 mg/kg) está por encima de los límites permisibles (140,0 mg/kg) en un porcentaje de 237,54%, por lo que es un alto riesgo para las personas que trabajan y residen en este lugar.

#### **4.3.3. Procedimientos Secuenciales y Alternos del Arsénico en el Suelo**

En esta investigación se ha seguido la secuencia del procedimiento secuencial del origen del arsénico en los suelos de la zona de estudio tomando en cuenta los factores que favorecen la movilidad del arsénico en el suelo, pH, temperatura, textura, compactación, humedad y cantidad de arsénico, y dos características alternas como son el olor y color para reconocer los parámetros físicos presentes en el suelo.

El origen de la roca madre es la formación geológica predominante en todo el territorio de Llacuabamba que tiene una formación geológica aurífera que conforma el distrito minero de Parcoy, formado por rocas intrusivas del Batolito Pataz, que al erosionarse por acción del río Llacuabamba ha transportado el material que se ha depositado en las laderas, formando con el tiempo los diferentes estratos de suelo (tres terrazas aluviales), donde se ha asentado el pueblo.

La acción antrópica ha contribuido al desarrollo y contenido de los suelos, a través de las construcciones de las viviendas y las actividades económicas (agricultura, minería, mediante el beneficio artesanal de la recuperación de oro, residuos generados, manejo y trasladados de diversos materiales), todo ello ha determinado la formación del suelo del área de estudio.

La secuencia del proceso origen del arsénico parte de la presencia de la mineralización del distrito minero, que forman las rocas del intrusivo con fallamientos y fracturamientos, donde se encuentran la pirita, arsenopirita, calcopirita, galena, pirrotita, entre los principales minerales, todo ellos con contenido de arsénico en porcentajes variados, que son liberados al ser extraído mediante el proceso de minado y beneficio de minerales.

El arsénico se presenta en estos minerales de manera estable debido a las condiciones reductoras de asociación entre los metales en los yacimientos mineralizados donde se ubica, sin embargo, al ser extraído y llegar al suelo reacciona con los otros elementos químicos presente que influyen en la absorción del metaloide, también se debe considerar los factores temperatura, oxido reducción, acción de los coloides, enlaces iónicos, todo ellos favorecen la liberación y movilidad del arsénico, que se va a desplazar y permanece en los diferentes niveles de la estructura perfil del suelo, por ejemplo si se localiza en los primeros 30 centímetros de profundidad su origen, es proveniente por el transporte del aire o el agua, tal como ha sucedido en la zona de estudio, por esta razón se ha encontrado la mayor cantidad de arsénico en el nivel superior (perfil O y A del suelo) y que disminuye en el contenido cantidad del contaminante cuando nos acercamos a nivel del fondo del suelo.

En la zona categorizada como rural para el presente estudio, se ubicaron seis estaciones de muestreo, las características del olor presentaba tierra húmeda y natural, referente al color del suelo se observó desde el café rojizo a café claro, en relación con el parámetro temperatura del suelo que condiciona los factores físicos, biológicos en el suelo, y la absorción de los nutrientes, se encontró un valor en la estación N° 1 de 16,8 °C, el valor más bajo de temperatura fue la estación N° 14 con el valor de 16,4°C y la más alta registrada fue la estación N°4 con un registro de 17,9°C.

La textura del suelo es arcilloso en las estaciones N°1, N° 2, N°12 y N°14, mientras que en la estación N° 3 y N° 4 se tiene una textura franco arenoso; en las primeras estaciones con contenido de arcilla, y mayor cantidad de materia orgánica y humedad, buena aireación y disponibilidad de nutrientes, han provocado todas estas condiciones la menor cantidad de arsénico por lo cual no sobrepasa el valor de ECA para suelos en zonas rurales.

En las estaciones N° 12 y N°14 se excede el ECA de suelo para zonas rurales, entre las causas que explican el mayor contenido de arsénico en estas dos estaciones es el bajo contenido de materia orgánica, la fracción de arcilla que contiene aluminio y oxihidróxidos de hierro, la compactación del suelo cuyo valor encontrado es de duro a suelto, y además es semihúmedo.

En los suelos de la zona industrial del centro poblado de la comunidad, en las cinco estaciones ubicadas, el olor de suelo fue característico natural, su color café (solamente en la estación 20 se encontró el color café claro), en promedio el pH fue categorizado como más ácido, teniendo como mínimo 4,3 pH (estación N° 19) y el máximo 4,7 pH (estación N°17), en relación a la temperatura la más baja detectada fue 16,4 °C en la estación N° 17 y la máxima en la estación N° 16 con una temperatura de valor de 17,8 °C. La textura determinada es arena franca, clasificándose como textura moderadamente gruesa, la compactación es suelta, con contenido de humedad, que varía a lo largo de las estaciones del año, estos procesos de cambio de temperatura son diferente durante el día y la noche, siendo mayor cantidad humedad en la época de mayor precipitación que es la temporada lluviosa (noviembre a marzo), y disminuye en la época de ausencia de lluvias (junio a setiembre), ocasionan expansiones y contracciones que afecta a los componentes del suelo, originando la movilidad del arsénico presente en el suelo, por los movimientos físico-químicos, en un suelo con alta acidez.

La zona urbana los procedimientos secuenciales para el origen del arsénico, están relacionados a las características del suelo, a la relación pH y óxido reducción redox, por ello en todas las estaciones la concentración de arsénico en niveles superiores al estándar de suelo, referente al valor de pH en todas las estación está en

promedio de valor 5 de pH, y la textura es franco arcillosa en todos los puntos muestreados en esta zona, el arsénico ha sido retenido por la arcilla la cuál cumple un rol de absorber los iones de los elementos químicos del suelo y el agua, además favorece el estado de oxidación del As y la movilidad del metaloide que está regulada por la acción redox, influenciada por el pH, es la explicación porque encontramos la cantidad de arsénico en el suelo.

Cuadro 28

Concentración de Promedio Arsénico (en mg/kg) y la Desviación Estándar en las diferentes estaciones de muestreo del Centro Poblado Llacuabamba

Zonas	Estaciones de Monitoreo	Cantidad de PH en suelo	Cantidad de Arsénico en suelo (mg/kg)	Cantidad Promedio de Arsénico en suelo (mg/kg)	Desviaciones Estándar de la Cantidad de Arsénico en suelo
Zona Rural	Est. 1	6.5	35.46	40.37	17.06
	Est. 2	6.6	30.50		
	Est. 3	6.6	23.00		
	Est. 4	6.7	29.78		
	Est. 12	6.7	60.10		
	Est. 14	6.3	63.40		
Zona Urbana	Est. 5	5.4	100.00	111.33	16.8
	Est. 6	5.1	150.00		
	Est. 7	5.7	98.00		
	Est. 8	5.3	120.00		
	Est. 9	5.3	110.00		
	Est. 10	5.4	113.00		
	Est. 11	5.2	100.00		
	Est. 13	5.1	96.00		
Zona Industrial	Est. 15	5.2	115.00	472.56	143.28
	Est. 16	4.6	653.20		
	Est. 17	5.1	310.20		
	Est. 18	4.5	589.10		
	Est. 19	4.3	420.30		
	Est. 20	4.5	390.00		

Fuente. *Elaboración propia.*

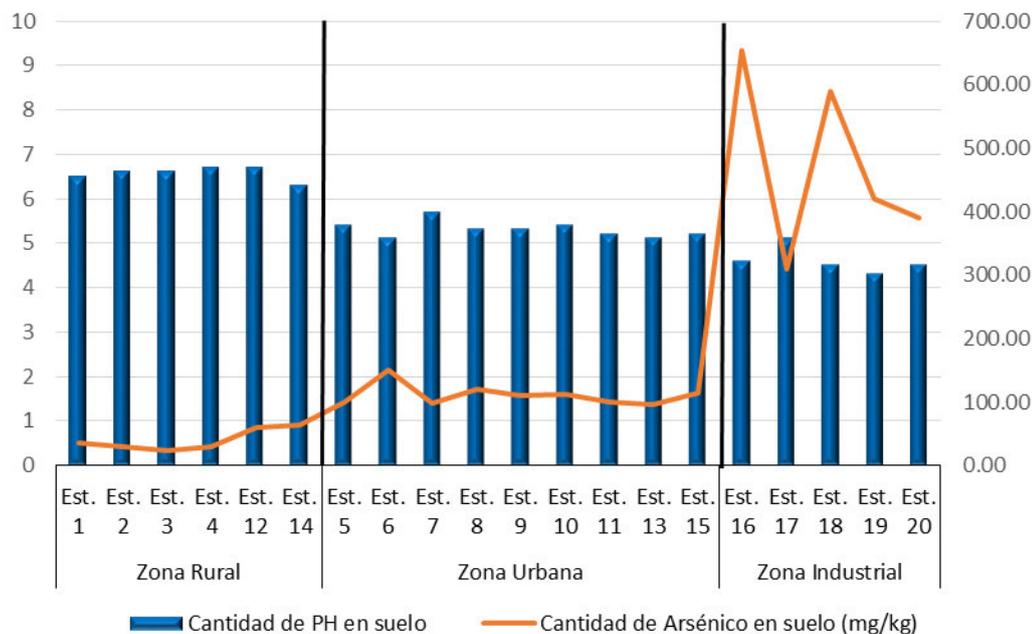


Figura 25. *Comparativo del pH y la cantidad de Arsénico en suelos, según zona del centro poblado Llacubamba.* Fuente. *Propia.*

Con relación con el nivel de potencial de hidrógeno del suelo, se observa en la zona rural del centro poblado de Llacubamba, con un rango de pH, entre 6,3 y 6,7 que viene a representar un pH ligeramente neutro, debido a la mayor concentración de materia orgánica en el suelo, que ocasiona niveles bajo de concentración de arsénico y cuyo promedio de 40,37 mg/kg es menor al límite fijando en el ECA de suelo (50 mg/kg).

En la zona urbana, sin embargo, los niveles de acidez se encuentran dentro de un rango de pH 5,1 a 5,7 con un suelo ácido lo que nos estaría informando que el suelo se encuentra en un proceso de degradación debido principalmente a los altos niveles de arsénico encontrado en promedio de 111,33 mg/kg muy por encima del límite del estándar de calidad ambiental de 50,0 mg/kg.

En la zona Industrial los niveles de acidez se encuentran dentro de un rango de pH 4,3 a 5,1 (diez veces en magnitud de acidez), con un suelo ácido, significando que el suelo se encuentra degradado debido a la presencia de arsénico en promedio de 472,56 mg/kg, que sobrepasa los límites del ECA de 140,0 mg/kg en 237.54%. En lo referente a potencial redox que está relacionado al pH, nos proporciona información de la tendencia del arsénico en el suelo, sobre todo cuando proviene de la pirita en

medio reductores (FeS), porque es influenciado por las condiciones aeróbicas de la reducción de metaloide en el suelo, que por las condiciones presente en el suelo principalmente porque el fierro es reducido por las otras condiciones anaeróbicas se moviliza la secuencia que depende del potencial redox, el suelo en esta zona recibe la acción de fuertes vientos que varía durante el día en frecuencia e intensidad, se considera una alta aireación del suelo, el oxígeno actúa como el aceptador de electrones fuertes y produce los estados de oxidación por la carga máxima existente, porque en la naturaleza no existen electrones libres y la oxidación es la cesión de electrones, asociada a la aceptación de electrones que es la reducción.

#### **4.4. Hipótesis**

##### **4.4.1. Hipótesis General**

“La explotación y beneficio de minerales de la actividad minera ha generado la contaminación de suelos por arsénico que se ha depositado en el suelo del centro poblado de la comunidad campesina de Llacuabamba, sin embargo, también es posible que la presencia de dicho elemento tenga un origen natural por la génesis de formación del suelo.”

##### **4.4.2. Hipótesis Secundarias**

- El suelo a consecuencia de las operaciones mineras, y los pasivos ambientales mineros cuentan con un contenido de arsénico siendo el suelo un depósito del contaminante y que afecta al ecosistema.
- La presencia del arsénico en el suelo del centro poblado de Llacuabamba su origen es de forma natural debido a la génesis del suelo.
- La población que reside en el centro poblado de Llacuabamba sufre los efectos de la contaminación de arsénico presentes en el suelo.

### 4.4.3. Pruebas de Hipótesis

En el Cuadro N° 29 podemos apreciar que existe presencia de Arsénico en las estaciones de monitoreo del centro poblado Llacuabamba, por ello usamos la Prueba No Paramétrica del Test del Signo para cada Zona del Centro Poblado (Zona Rural, Zona Urbana y Zona Industrial)

#### Zona Rural

##### 1.- Hipótesis:

Ho: La cantidad promedio de Arsénico es menor o igual a 50 mg/kg

$$(\bar{X} \leq 50 \text{ mg/kg})$$

H1: La cantidad promedio de Arsénico es mayor a 50 mg/kg ( $\bar{X} > 50 \text{ mg/kg}$ )

##### 2.- Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

##### 3.- Estadístico de Prueba

Para la aplicación de la Prueba del signo, colocamos un signo positivo por cada dato que supere los 50 mg/kg y un signo negativo por cada dato menor que 50 mg/kg, y obtenemos los resultados siguientes:

Cuadro 29  
Estadístico de Prueba

Zona Rural	Est. 1	35.46	-
	Est. 2	30.50	-
	Est. 3	23.00	-
	Est. 4	29.78	-
	Est. 12	60.10	+
	Est. 14	63.40	+

El número de ensayos válidos para este análisis es de n=6.

El número de signos positivos x será el estadístico de prueba, x=2.

La probabilidad de éxito es de 0.5.

$$P(X>2) = 1-P(X<2)$$

$$P(X>2) = 1-\text{Binomial}(2, 6, 0.5) = 0.656$$

Fuente. *Elaboración propia.*

#### 4.- Regla de Decisión

Se rechaza  $H_0$  si  $P(X>2) < 0.05$ , como  $P(X>2) = 0.656$  y es mayor que 0.05, entonces  $H_0$  no se rechaza.

#### 5.-Conclusiones

Dado que  $H_0$  no se rechaza, por consiguiente, con un 95% de confianza se concluye que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que la cantidad promedio de Arsénico en suelos de la Zona Rural del Centro Poblado de Llacuabamba, sea menor o igual a los 50 mg/kg.

### Zona Urbana

#### 1.- Hipótesis:

$H_0$ : La cantidad promedio de Arsénico es menor o igual a 50 mg/Kg

$$(\bar{X} \leq 50 \text{ mg/kg})$$

$H_1$ : La cantidad promedio de Arsénico es mayor a 50 mg/Kg ( $\bar{X} > 50 \text{ mg/kg}$ )

2.-Nivel de Significancia:  $\alpha = 0,05$

#### 3.- Estadístico de Prueba

Para la aplicación de la Prueba del signo, colocamos un signo positivo por cada dato que supere los 50 mg/kg y un signo negativo por cada dato menor que 50 mg/kg, y obtenemos los resultados siguientes:

Cuadro 30  
Estadístico de Prueba

	Est. 5	100.00	+
	Est. 6	150.00	+
	Est. 7	98.00	+
	Est. 8	120.00	+
Zona Urbana	Est. 9	110.00	+
	Est. 10	113.00	+
	Est. 11	100.00	+
	Est. 13	96.00	+
	Est. 15	115.00	+

El número de ensayos válidos para este análisis es de  $n=9$ .

El número de signos positivos  $x$  será el estadístico de prueba,  $x=9$ .

La probabilidad de éxito es de 0.5.

$$P(X>9) = 1 - P(X<9)$$

$$P(X>9) = 1 - \text{Binomial}(9, 9, 0.5) = 0.00$$

Fuente. *Elaboración propia.*

#### 4.- Regla de Decisión

Se rechaza  $H_0$  si  $P(X>9) < 0.05$ , como  $P(X>9) = 0.00$  y es menor que 0.05, entonces  $H_0$  se rechaza.

#### 5.-Conclusiones

Dado que  $H_0$  se rechaza con un 95% de confianza, se concluye que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula en consecuencia, la cantidad promedio de Arsénico en suelos de la Zona Urbana del Centro Poblado de Llacuabamba, es mayor a los 50 mg/kg.

### Zona Industrial

#### 1.- Hipótesis:

$H_0$ : La cantidad promedio de Arsénico es menor o igual a 140 mg/kg

$$(\bar{X} \leq 140 \text{ mg/kg})$$

$H_1$ : La cantidad promedio de Arsénico es mayor a 140 mg/kg ( $\bar{X} > 140 \text{ mg/kg}$ )

#### 2.-Nivel de Significancia: $\alpha = 0,05$

### 3.- Estadístico de Prueba

Para la aplicación de la Prueba del signo, colocamos un signo positivo por cada dato que supere los 140 mg/kg y un signo negativo por cada dato menor que 140 mg/kg, y obtenemos los resultados siguientes:

Cuadro 31  
Estadístico de Prueba

	Est. 16	653.20	+
	Est. 17	310.20	+
Zona Industrial	Est. 18	589.10	+
	Est. 19	420.30	+
	Est. 20	390.00	+

El número de ensayos válidos para este análisis es de  $n=5$ .

El número de signos positivos  $x$  será el estadístico de prueba,  $x=5$ .

La probabilidad de éxito es de 0.5.

$$P(X>5) = 1 - P(X<5)$$

$$P(X>5) = 1 - \text{Binomial}(9, 9, 0.5) = 0.00$$

Fuente. *Elaboración propia*

### 4.- Regla de Decisión

Se rechaza  $H_0$  si  $P(X>5) < 0.05$ , como  $P(X>5) = 0.00$  y es menor que 0.05, entonces  $H_0$  se rechaza.

### 5.-Conclusiones

Dado que  $H_0$  se rechaza con un 95% de confianza, se concluye que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula en consecuencia, la cantidad promedio de Arsénico en suelo de la Zona Industrial del Centro Poblado de Llacuabamba, es mayor a los 140 mg/kg.

## **CAPITULO V. IMPACTOS**

### **5.1. Descontaminación y Remediación de Suelos Contaminados por Arsénico.**

Es importante recuperar la calidad ambiental de los suelos de la comunidad de Llacuabamba, para lograrlo es necesario realizar un plan de descontaminación y remediación de suelos, para tener suelos libres de contaminación de arsénico, y garantizar suelos limpios y que no se afecte la salud de las personas que residen en el centro poblado. La zona que requiere una atención inmediata por su alto contenido de arsénico en los suelos es la zona industrial, seguida por la zona urbana y en el tercer lugar la zona rural que es el sector menos impactado lugar donde se ha encontrado la menor cantidad del contaminante.

En la presente investigación según la información de los registros médicos en el centro de salud de Llacuabamba no se ha reportado enfermedades arsenicales, que es frecuente en poblaciones que viven en terrenos contaminados por arsénico en el agua o suelo; la bibliografía científica es específica en señalar que la toxicidad depende de la forma química en que se encuentre el arsénico que puede ser orgánica o inorgánica, su nivel de concentración, y que si se encuentra incorporara a la cadena trófica donde se afecta a los seres vivos. Sin embargo, para el caso de Llacuabamba no existe reporte de estudios médicos de salud sobre contaminación por metales pesados en los pobladores.

Los suelos del centro poblado presentan contenido de arsénico, distribuido en los diferentes niveles de profundidad del suelo, cuando se tiene suelos contaminados por arsénico su grado de peligrosidad para la salud humana depende del estado que se encuentre el metaloide, por ejemplo, en los estados químicos de arseniato y arsenito el

elemento es muy toxico, siendo en este estado muy peligroso para el ecosistema y los seres vivos.

En el proceso de remediación de suelos se tiene que adoptar las medidas de aseguramiento para evitar la dispersión del contaminante y minimizar la exposición de los receptores a niveles que no implique un riesgo para el entorno. Entre las técnicas más recomendadas se propone el encapsulamiento, confinación y el sellado de suelos contaminados, estas técnicas tienen como finalidad la inmovilización del arsénico, garantizando que no se disperse por los componentes del medio aire y agua y dejando de ser un riesgo para el ambiente.

Lograr lo propuesto anteriormente es mediante el tratamiento del suelo contaminado para reducir, minimizar o eliminar el contenido de arsénico. La labor de descontaminación y recuperación de las tres zonas del pueblo implica un proceso largo, complejo y costoso y que deberá ser asumido por la comunidad y la empresa (zona industrial). De nada servirá la descontaminación del suelo, si no se elimina o controla la fuente de origen del contaminante, que en caso de la zona urbana las dos causas identificadas son por los molinetes no autorizados operan en el centro poblado y que en la molienda del mineral liberan partículas con contenido de arsénico y la segunda causa los mineros artesanales que llegan de su trabajo con su ropa e implementos de faenas, transportando partículas de polvos con residuos de metales pesados que precipitan al suelo. En la zona industrial el origen del arsénico en el suelo es las operaciones mineras de extracción del mineral.

De las diferentes tecnologías disponibles para descontaminar los suelos, la opción más viable es excavar la superficie del suelo retirando el suelo contaminado y reemplazarlo por suelo limpio con materia orgánica donde se coloque posteriormente cobertura vegetal, referente al tratamiento de los suelos de la zona industrial con alto contenido de arsénico lo más recomendable es el encapsulamiento con cemento. En las áreas más extensas como las laderas del pueblo se debe reforestar para evitar la erosión y generación de polvo, se recomienda plantar especies exóticas o nativas, dependiendo de las características edáficas de suelo y orografía del terreno.

En las zonas donde se ha superado el valor estándar de calidad de suelo del parámetro arsénico, existe un riesgo potencial por la alta concentración del contaminante, el riesgo por la contaminación se determina por la cantidad disponible del metaloide en el suelo, y cómo puede afectar a los pobladores y si representa un peligro.

El modelo conceptual de concentración de arsénico en el suelo, para la remediación de suelos, es el siguiente:

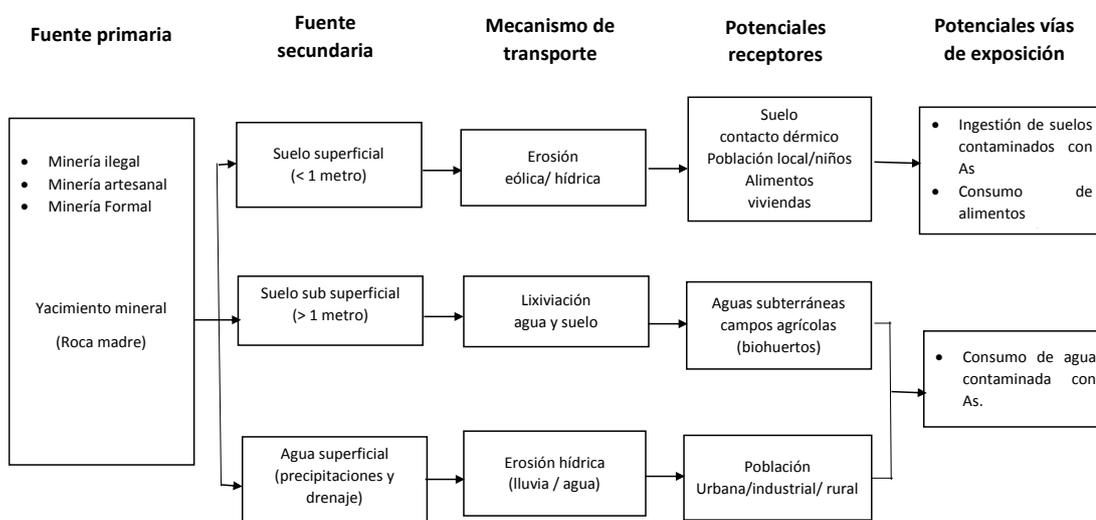


Figura 26. *Modelo conceptual de la concentración de arsénico en el suelo.* Fuente. Basado en CETESB, 2011 y MINAM, 2014.

El origen del contaminante es por la actividad minera (minería ilegal, artesanal y formal), que explota los yacimientos con contenido de arsénico y los libera en el ambiente, y como fuente secundaria el arsénico que se encuentra en la geología local (roca madre), en el suelo subsuperficial a mayor profundidad cuando se mide el nivel de fondo del suelo existe la presencia de arsénico.

El agua superficial que discurre por la superficie resultado de las precipitaciones y forma el drenaje son los mecanismos de transporte del metaloide que se encuentra en la parte superficial del suelo, que es favorecido por la intensidad de la erosión eólica, hídrica, la pendiente del terreno, el proceso de lixiviación del suelo

que se produce por el accionar del agua, y las filtraciones de agua a mayor profundidad, entre los receptores al encontrarse el arsénico en los primeros 30 centímetros del suelo, otro riesgo de movilidad del contaminante es que existe la posibilidad de contacto dérmico, estando en peligro la población local, sobre todo los grupos más vulnerables que son niños y ancianos, también se pueden contaminar los alimentos, el depósito en las viviendas por el polvo, la afectación de las aguas subterráneas, los campos agrícolas en las zonas rurales, y toda población que reside y trabaja en el centro poblado de Llacuabamba.

Conocido la fuente primaria y secundaria del origen del contaminante se debe adoptar las medidas de seguridad para cortar la dispersión del contaminante, logrando disminuir así la exposición de las personas para que no signifique el arsénico un riesgo para la salud de toda la población que reside en el centro poblado. Para ello se debe efectuar los trabajos en las zonas industriales, urbanas y rurales siendo las acciones siguientes:

**a) Zona Industrial:**

Es la zona que concentra la mayor cantidad de arsénico. Para reducir el riesgo a la salud de la población se recomienda las siguientes acciones:

- Remoción de 30 centímetros de suelo de los lugares donde existen suelos destinados a áreas verdes o jardines.
- Colocar una cobertura de cinco o diez centímetros de cal o roca caliza molida formando una delgada capa que impermeabilice el suelo.
- Colocar suelo limpio con materia orgánica en 20 centímetros para el soporte de las plantas.
- Las áreas que no tengan uso de jardín o parque se deberán encapsularse con cemento. Se deben realizar obras de construcción de pistas y veredas con un sistema de drenaje adecuado. En las obras de construcción se debe realizar la remoción del suelo superficial de 30 centímetros, colocar una capa de cal o roca caliza, luego material de préstamo y construir con concreto armado por

ser la mejor forma de encapsular y aislar el arsénico de las condiciones ambientales.

Los suelos removidos con alto contenido de arsénico deben ser confinados en un lugar adecuado y seguro para evitar la contaminación de suelo y agua, o en todo caso incinerar el suelo con la carga contaminante que es uno de los métodos de tratamiento de suelos para eliminar el arsénico del suelo, luego las cenizas deben ser colocadas en un relleno especial para residuos peligrosos debidamente confinados con todas las medidas de seguridad.

### **b) Zona Urbana:**

Para reducir el riesgo a la salud en la zona urbana el plan debe considerar como principal objetivo eliminar, reducir o minimizar el contaminante en el suelo de Llacuabamba, para lo cual se deben efectuar las siguientes acciones:

- En las viviendas se debe colocar cemento en el suelo, en las áreas de jardines o lugares donde se tenga suelo se debe retirar 30 centímetros de suelos, colocar una capa delgada de cal o roca caliza molida, y luego colocar el suelo limpio con alto contenido de materia orgánica, y cobertura vegetal.
- Todas las calles del pueblo deben contar con pistas y veredas de concreto armado, siguiendo los mismos procedimientos que se recomendaron para la zona industrial, dicha medida de remediación permite que los terrenos queden sellados evitando el contacto del suelo contaminado con la superficie, minimizando el riesgo a la salud de la población.
- El encapsulamiento de suelos con cemento, debe considerar todos los caminos de tierra que existen actualmente en el pueblo, los patios escolares, y canchas deportivas.
- Todo el centro poblado deberá contar con un sistema de drenaje para controlar la circulación de las aguas en temporada de fuertes precipitaciones.
- Todas las viviendas deben contar con abastecimiento de agua potable, para el adecuado consumo humano y también la adecuada higiene, sobre todo el adecuado lavado de manos.

- Los mineros artesanos al retornar a sus viviendas no deben usar los mamelucos, guantes, etc, toda la ropa de trabajo, ni porta mineral a sus viviendas, porque se convierte en portadores de metales pesados a sus domicilios poniendo en riesgo a toda su familia.
- Deber ser prohibido en el pueblo tener molinetes y realizar beneficio de oro, porque el alto riesgo de contaminación y efectos negativos a la salud de las personas que residen en la vivienda.
- El personal del centro de salud y los docentes deben organizar campañas de información de las medidas de prevención y efectos a la salud cuando nos exponemos a metales pesados, la concientización de niños, adolescentes y padres de familia debe ser una prioridad para estas instituciones.

**c) Zona Rural:**

Es la zona donde existe menor contaminación debido a diferentes factores que han favorecido a que el arsénico no esté presente en grandes cantidades en el suelo, por ello la remediación se debe centrar en minimizar y evitar la generación de polvo, erosión de suelos. Para ello se deberá trabajar en adecuar los suelos según la capacidad de uso (tierras con aptitud forestal de producción, tierras con aptitud forestal de protección de laderas, tierras para la producción agrícola y tierras para la siembra de pasturas mejoradas), para un adecuado uso del territorio, mediante un plan de ordenamiento territorial, que dará valor ecológico y estético con mejores paisajes.

La forestación de las laderas de los terrenos que están al margen del río de Llacuabamba y donde se asienta el pueblo beneficiaran el control del polvo, control del drenaje, y evitar la erosión del suelo, y también la recuperación de la flora y fauna local. En una hectárea de terreno se deben colocar 900 plántones de pinos o eucaliptos, siendo el más recomendado el primero, mientras en las partes más altas es conveniente el sembrado de especies nativas; la alternativa para la recuperación de los terrenos degradados son las especies exóticas por rápido crecimiento y adaptación al medio, se necesita contar con una cobertura forestal en menor tiempo posible, para dar estabilidad del suelo, evitar erosión, manejo forestal, y recuperación paisajista.

## 5.2. Costo de la Remediación de Suelos:

El costo de un plan de remediación de suelos contaminados por arsénico de las zonas industrial, urbana y rural que comprende el centro poblado de Llacuabamba, comprende los trabajos de remoción de suelos, construcción de pistas y veredas, canales de conducción de agua, forestación, mejora de pastos entre otros, y demandara una inversión aproximada de 8 millones de dólares, debido a la extensión del terreno afectado a ejecutarse en un plazo de 10 años. El mayor gasto es la inversión en la infraestructura urbana.

Se deberá realizar un estudio de factibilidad de las obras civiles a efectuar que son: la construcción de pavimentos, obras de movimientos de tierras, la colocación de material y reemplazo del suelo. En el estudio también se debe considerar la forestación, manejo de drenaje, control de taludes, canales de agua, como la prevención de remoción de masa en las quebradas, colocando cobertura vegetal, manejo de pasturas, entre otros.

La valorización económica para extraer el arsénico es a nivel conceptual, porque cuando se realice el plan de remediación a nivel de factibilidad estos costos pueden variar por criterios técnicos de cada zona (industrial, urbana, rural) que tiene el suelo, el mismo que varía en cantidad según la zona, sin embargo, el valor del propuesto está basado en experiencias de descontaminación y remediación de suelos efectuadas en otras zonas del país y es simplemente enunciativa.

Cuadro 32.  
Valorización Económica de la Remediación de Suelos

<b>Partida y lugar del gasto</b>	<b>Costo en dólares americanos/ha</b>
Remediación de la zona industrial	3.500.00
Remediación de la zona urbana	2.500.00
Remediación de la zona rural	600.00

Fuente. *Elaboración propia.*

### **5.3. Beneficios de la Remediación de Suelos:**

El principal objetivo es beneficiarse con un suelo libre de arsénico que no constituya un riesgo ambiental para el medio, con la ejecución del plan de remediación de suelos de la comunidad cumplirán con los estándares de calidad fijados por el Ministerio del Ambiente, las técnicas recomendadas que son el encapsulamiento y remoción de suelos, y posterior incineración de los suelos removidos con alto contenido de arsénico, traerá muchos beneficios para la calidad ambiental del pueblo.

Así mismo, la existencia de un suelo libre de arsénico beneficiará a no contaminar las aguas superficiales, el acuífero y a mantener un aire libre del metaloide, siendo una comunidad que garantice una sostenibilidad de sus componentes ambientales, mejorando sus oportunidades de desarrollo y que su población no sea afectada por el alto riesgo de vivir en suelos con altos contenidos de arsénico.

Es necesario mejorar las condiciones ambientales porque todo ello repercutirá en contar con una comunidad más saludable libre de suelos con arsénico, contando con una mejor calidad de vida y mejores condiciones para convertirse en una comunidad sostenible.

## CONCLUSIONES

El origen del arsénico en los suelos del centro poblado de Llacuabamba, proviene de dos fuentes, la primera es del origen de la roca madre, por la formación geológica, del distrito minero aurífero de Parcoy, que al erosionarse por acción del río Llacuabamba han transportado el material que se ha depositado en las tres terrazas aluviales donde se ha asentado el centro poblado, la segunda fuente es la actividades antrópicas como son las construcciones de viviendas, agricultura, y las de mayor impacto han sido la minería artesanal, informal, ilegal, pequeña y mediana minería que se han desarrolla desde hace muchos años en la zona, el beneficio de mineral de manera artesanal en la recuperación de oro en viviendas de la comunidad, ha generado residuos contaminantes, el mal manejo y trasladados de materiales, han servido para liberar el arsénico en el suelo.

La secuencia del proceso de liberación y origen del arsénico en los suelos, que forma parte de la mineralización del distrito minero, y presente en las rocas del intrusivo con fallamiento y fracturamiento, existiendo de la forma mineralizada como pirita, arsenopirita, calcopirita, galena, pirrotita, entre los principales minerales, todo ellos con contenido de arsénico en porcentajes variados, que son liberados al ambiente al ser extraído mediante el proceso de minado y beneficio de minerales y que terminaron en el suelo, por ello se llega a la conclusión que la actividad minera y beneficio del oro, en todas sus formas es la principal causa de la contaminación del suelo por arsénico.

Los factores más importantes que regulan la disponibilidad del arsénico en el suelo están relacionados a las características propias del suelo, siendo el más importante el potencial de hidrogeno, seguido de la textura con el contenido de arcilla, que favorece el estado de oxidación del metaloide y que su movilidad es regulada por el pH, el intercambio catónico de la reducción redox, que han ocasionado que el

arsénico esté presente en el suelo, sin embargo en la zona rural la materia orgánica, la textura, los coloides y la humedad, han tenido un papel importante en la reducción, precipitación y disminución de la cantidad de arsénico en el suelo, por ello en estos suelos el contenido del elemento contaminante es bajo.

Al superarse los estándares de calidad ambiental para suelo referente al parámetro de arsénico, en las zonas del centro poblado denominada para la presente investigación como zona urbana y la zona industrial, son suelos contaminados con alto riesgo para la salud de los pobladores locales y para el ambiente, mientras que en la zona rural es mejor la calidad de suelos y solo se supera ligeramente en dos estaciones de monitoreo, mientras que las zonas contaminadas porque al estar el suelo con alto contenido de arsénico, el elemento se desplazara a otros componentes ambientales como aire y agua, por lo que se tendrá que iniciar un plan de remediación o descontaminación de suelo a la brevedad posible.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar un plan de ordenamiento territorial comunal, que comprenda el adecuado uso y manejo del suelo, con una ocupación adecuada a las condiciones de características del suelo, relieve, pendiente, ubicación, potencial del suelo, para las diferentes actividades productivas o económicas que se ejecutan en la comunidad, por ejemplo, se debe reevaluar la construcción de edificios para viviendas, en suelos aluviales no consolidados, sin las adecuadas estructuras de soporte de la infraestructura, que con el accionar de la filtración de las aguas y la falta de consolidación del suelo se pueden producir deslizamiento o hundimientos de los nuevos edificios.

Elaborar un plan de remediación o descontaminación de suelos a nivel de factibilidad para evaluar la estrategia y puesta en marcha de manera planificada la remediación de suelos que contienen alto contenido de arsénico en especial las zona urbana y rural, este plan debe involucrar a todos los actores sociales, tanto instituciones públicas, como privadas, siendo una responsabilidad compartida la contaminación de suelos, entre la empresa minera y la población de la comunidad, ambos causantes debido por las actividades de la minería.

Forestar las laderas con especies nativas y exóticas e iniciar un manejo forestal bajo los criterios de protección de laderas para evitar la erosión de los suelos y control del drenaje, y otras zonas para la producción forestal, adoptando las medidas con cortinas corta viento para evitar o prevenir incendios forestales, así mismo promover la práctica del compostaje para la producción agrícola, de esta manera se lograra modificar el pH, producir un intercambio de cationes y la reducción de oxidación en el suelo que servirá para minimizar y reducir la presencia de arsénico.

Realizar una evaluación médica con toma de muestras para el análisis de sangre de la población, por parte del Ministerio de Salud y determinar si en la sangre de los pobladores se encuentra arsénico o metales pesados, tal evaluación médica deberá formar parte de una campaña de salud, además educar a los comuneros o pobladores sobre las condiciones higiénicas y de salubridad de los alimentos en la cocina, su vida diaria y las medidas de control de higiene a los trabajadores mineros y a la población general para evitar contaminación por elementos químicos provenientes de la labor minera.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Aguilar, J., Dorronsoro, C., Bellver, R., Fernandez, J., Garcia, I, Iriarte,A, Martín, F, Ortiz, I y Simon,M. (2003). *Contaminación de Suelos tras el Vertido Tóxico de Aznalcóllar*. Págs 184. Universidad de Granada. Granada. España.
- Anderson, G., J. Williams, and R. Hille. (1992). The Purification and Characterization of Arsenite Oxidase From *Alcaligenes Gaecalis* a Molybdenum – Containing Hidroxilase, *J. Bil. Chem* 267: 23674 – 23682.
- Álvarez Campana, Gallo, J.M. (2001). *Suelos contaminados: problemática metodología y normativa*. Curso de Gestión Ambiental en la Empresa. Escuela de Organización Industrial. Fondo Social Europeo. ETSICCP. Universidad de A Coruña, pág. 107. España.
- ATSDR. (2000). *Toxicological profile for Toluene*, Atlanta GA. Agency for toxic substances and disease registry”. Us Department of health and human Service. Public health service. Pág. 228. EE.UU.
- Autoridad Nacional del Agua. ANA (2011). *Codificación y Clasificación de Cursos de Agua Superficiales del Perú*. Informe Final. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. Ministerio de Agricultura. Págs 76. Lima. Perú.
- Auditec, SAC. (2011). *Informe de Diagnostico del Plan de Mitigación y Mejoramiento de la Calidad de Agua sobre la Cuenca de Parcoy y Laguna Pías*. Preparado para el Grupo Técnico de Gestión Ambiental de la Laguna Pías. Págs. 134. Lima Perú.

- Barettino, D., Loredó, J. y Pendás, F. (2015). *Acidificación de suelos y aguas: Problemas y Soluciones*. Ediciones IGME. Págs 210. Año 2015. Madrid. España.
- Branco A. (2007). *Mobilità e Fitodisponibilità di Arsenico in Suoli Inquinati. Relatori Violante A. Dipartimento di Scienze del Suolo della Pianta dell' Ambiente e delle Produzioni Animali, Sezione di Chimica Agraria. Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II*
- Bonneau, M.; Souchier, (1987). *Edafología: Constituyentes y Propiedades del Suelo*. Vol N° 2. Ediciones Masson S.A.; Págs 416. Barcelona. España.
- Buenaventura Ingenieros. BISA. (2010). *Modificación de Estudio de Impacto Ambiental Componentes e Infraestructura U.E.A Retamas*. Minera Aurífera Retamas S.A. MARSА. Págs 460. Lima. Perú.
- Carbonell, A.; Burlo, F.; Mataix, J.; (1995). *Arsénico en el Sistema Suelo – Planta: Significado Ambiental*. Universidad de Alicante. España.
- CETESB Proy; GTZ, Alemania (1999). *Amostragem do Solos 6300*. Proyecto CETESB - GTZ. Págs. 170. Brasil.
- CIGREN PERÚ, SAC (2016). *Línea de Base Social, Económica, Cultural e Interés Humano de la Comunidad Campesina de Llacuabamba*. Elaborado para Minera Aurífera Retamas S.A. MARSА. Págs. 210. Lima, Perú.
- Cirre Gómez, Ana María (2003). *Estudio Edafológico e Hidroquímico de las Tierras de Archidona*. Tesis para optar el grado Académico de Doctor. Universidad de Granada. pág. 364. España.
- Colin, Baird; Michael Cann (2014). *Química Ambiental*. Departament de Química Universitat Autònoma de Barcelona. págs. 776. Editorial Reverté, S.A. España.

- Consortio Minero Horizonte S.A.C. (2003). *Plan de Cierre Temporal de la Mina Retamas*. Págs 250. Lima, Perú.
- Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA (2014). *Monitoreo de Calidad de Agua de la Cuenca del río Parcoy - Llacuabamba*. Pág. 160. Parcoy. Región La Libertad.
- Diego de la Rosa. (2008). *Evaluación Agro-ecológica de Suelos*. Para un Desarrollo Sostenible. Ediciones Mundi – Prensa. Págs. 404.
- Díaz Cartagena, Walter Javier (1999). *Minería, Petróleo y Medio Ambiente*. Ediciones Esperanza, Págs. 238. Lima, Perú.
- Díaz Cartagena, Walter Javier (2016). *Contaminación del Ecosistema en San Mateo de Huanchor por los Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos y su Impacto en la Salud de los Pobladores*. Tesis para Optar el Grado de Magister de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Págs 250 Lima. Perú.
- Díaz Cartagena, Walter Javier (2017). Estrategia de Gestión Integrada de Suelos Contaminados en el Perú. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 19 (38), Págs. 103 – 110. Lima. Perú.
- Diez Lázaro, Javier (2008). *Fitocorrección de Suelos Contaminados con Metales Pesados: Evaluación de Plantas Tolerantes y Optimización del Proceso Mediante Prácticas Agronómicas*. Tesis para Optar el Grado de Doctor del Departamento de Edafología e Química Agrícola. Universidad Santiago de Compostela. Págs 344 España.
- Doran, J.W. and Parkin, T.B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. In: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 3 – 21.

Environment, Agency and British Geological Survey (2003). *Measurement of The Bioaccessibility Of Arsenic in UK Soils*. R& D Technical. Report P5-06TR02. Bristol: Environment Agency.

Environment, Agency (2009). *Soil Guideline Values for Inorganic Arsenic in Soils*. Bristol: Environment Agency.

Environment, Agency (2009). *Contaminants in soil updated Collation of Toxicological Data and Intake Values for Humans Inorganic Arsenic*. Science Report SC50021/SR TOX1. Bristol: Environment Agency.

FAO. (1990). Sustainable Development and Management of Land and Water Resources. *In: Conference on Agriculture and The Environment*. FAO. Págs 221. Background. Document N° 1. Rome. Italy.

FAO. (1990). *Evaluación de Tierras para la Agricultura de Regadío*. Directivas Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Boletín de Suelos. Págs. 289. Roma. Italia.

FAO. (1998). *World Reference Base for Soil Resource*. First Edition ISRIC and ISSS & FAO. Acco. Leuven. Págs. 165. Roma. Italia.

FAO. (2009). *Guía para la Descripción de Suelos*. Cuarta Edición. Págs. 99. Roma. Italia.

Fernández Sanz, Beatriz. (2015). *Ecotoxicología del Arsénico: Movilización en Suelos y Agua, Relevancia Clínica y Método de Eliminación*. Trabajo de Fin de Grado. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. España. Págs. 19.

Gao, S.; Burau, R.G.; (1997). Environmental Factors Affecting Rates of Arsenic Evolution From And Mineralization of Arsenicals in Soil. *Journal of Environmental Quality*, 26, Págs. 753 – 763.

- Galán, Emilio; Romero, Antonio. (2008). *Contaminación de Suelos por Metales Pesados*. Sociedad Española de Mineralogía. Volumen 1 Madrid. España.
- Guzmán Alcalá, Marta Cruz. (2007). *La Contaminación de Suelos y Aguas: su Prevención con Nuevas Sustancias Naturales*, Editorial: Universidad de Sevilla, Págs.243.
- Imaz, M, J. y Virto, I. (2010). *Indicadores de Calidad de Suelos*, Ediciones Pressas Universitarias. Universidad de Zaragoza y Universidad de Lleida (Colección de textos docentes). Zaragoza, España. Año 2010. Págs 155.
- Ingeniería Hidráulica e Hidrológica SAC (2016). Estudio: *Evaluación de Fuentes Naturales de Agua en las Quebradas Ventanas, Tres Lagunas, La Castilla y Quebrada la Paccha, para la Comunidad de Llacuabamba*. Trujillo. Región La Libertad. Perú. Pags. 250.
- J.M. Hodgson. (2012). *Muestreo y Descripción de Suelos*. Editorial Reverté S.A. Barcelona. España, año 2012. Págs. 229.
- Koss, G y Tessaraux R. (1994). Hydrocarbons. En Hans Marquardt, Siegfried G. Eds *Toxicology Chapter 25. Academic Press*. Pags. 603 – 6013. EE. UU
- LAL, R (1982). Management of Clay Soil For Erosión Control. *Tropical Agriculture*, N° 59 (2). Págs. 133 - 138.
- Lauwerys, R (1994). *Toxicología Industrial e Intoxicaciones Profesionales*. Ediciones Masson. Págs 242. Barcelona. España.
- L.M. Thompson e F.R. Troeh. (1988). *Los Suelos y su Fertilidad*. Editorial Reverté S.A. Barcelona. España, año 2012. Págs. 650.
- Mandal, B.K and K.T. Suzuki, (2002). Arsenic Round The World: *Areview. Talanta* 58: Págs 201 – 235. India.

- Martignon, G. (2009). *Linee Guida per la Misura della Tossicità dei Suoli*. Test di fitotossicità per il suolo. CESI RICERCA -ASV Ambiente e Sviluppo Sostenibile. Págs. 240.
- Marsh, W.M., (1978). *Environmental Analysis for Land Use and Site Planning*. MC Graw- Hill, New York. USA.
- Mayorga Moreno, M. Paloma (2013). Tesis Doctoral: *Arsénico en Aguas Subterráneas a su Transferencia al Suelo y a la Planta*. Escuela Universitaria de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Págs. 42. España.
- Mendez, B.; Carrillo, A.; Levresse, Guilles. (2012). Influencia del pH y Alcalinidad en la Adsorción de As y Metales Pesados por Oxihidroxidos de Fe en Jales Mineros de Tipo Skarn de Pb-ZN-Ag. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Volumen 29. Págs. 639 – 648. México.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía para la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente*. Pág. 160. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para el Muestreo de Suelos*. Págs 72. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal*. Memoria Descriptiva. Págs 100. Lima, Perú.
- Ministerio de Ambiente. (2017). Aprueban Criterios para Gestión de Sitios Contaminados. Decreto Supremo N° 012-2017-MINAm [cited 3 abril 2018]. <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-criterios-para-gestión-de-sitios-contaminados-decretosupremo-n-012-2017-minam-1593392-6/>
- Ministerio del Medio Ambiente de España. (2004). *Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico Contenido y Metodología*. Secretaria General para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático. Págs. 809. Lima, Perú.

- Minera Aurífera Retamas S.A. MARSA. (2005). *Estudio de Impacto Ambiental. Depósito de Desmonte "Alaska"*. Asesores y Consultores. S.A. Lima. Perú.
- Minera Aurífera Retamas S.A. MARSA. (2006). *Plan de Cierre de la Unidad Minera San Andrés*. MARSA. Lima. Perú.
- Minera Aurífera Retamas S.A. MARSA. (2012). *Estudio Técnico: Modificación de Estudio de Impacto Ambiental. Plan de Implementación de los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la U.E.A. Retamas*. Horizonte Consultores S.R.L. Lima. Perú.
- Minera Aurífera Retamas S.A. MARSA. (2015). *Estudio Técnico: Modificación de Estudio de Impacto Ambiental Excepcional de la U.E.A. Retamas*. Lima. Perú.
- Minera Aurífera Retamas S.A. MARSA. (2015). *Estudio Técnico: Estudio Hidrogeológico Integral de la U.E.A. Retamas*. Lima. Perú.
- Minera Aurífera Retamas S.A. MARSA. (2016). *Informe Técnico Sustentatorio ITS Proyecto de Ampliación de la Planta de Beneficio y Cambio de Ruta de Transporte de Relave de la U.E.A. Retamas*. RHIND. Lima. Perú.
- Ministerio de Energía y Minas (1997). *Evaluación Ambiental Territorial de la Cuenca del Río Llacuabamba – Parcoy*. Lima. Perú.
- Moreno Jiménez, Eduardo. (2010). Tesis Doctoral titulada *Recuperación de Suelos Mineros Contaminados con Arsénico Mediante Fitotecnologías*. Universidad Autónoma de Madrid. Pág. 490. España. 2010.
- Nguyen Kha., Paquet Heléne. (1975). Mécanismes d'évolution et de redistribution des minéraux argileux dans les pélosols. In: *Sciences Géologiques. Bulletin, tome 28, N° 1, 1975. Sédimentologie et pédologie, géochimie de la Surface*. Págs. 15-28.

- Nriagu, IO. (1990). Contaminación Metálica Global. *Revista Medio Ambiente*, N° 32, Págs. 7-33.
- Oldeman, L.R. (1988). *Guidelines for General Assessment Of The Status of Human – Induced Soil Degradation*. ISRIC Working Paper and Preprint. Págs 420.
- ONERN (1985). *Mapa Ecológico de Perú*. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima Perú.
- Ortiz, S.C.A. (1999). *Metodología del Levantamiento Fisiográfico: Un Sistema de Clasificación de Tierras*. Colegio de Postgraduado Chapingo. México. Págs. 210.
- Peris Mendoza, Mónica. (2006). *Estudio de Metales Pesados en Suelos Bajo Cultivos Hortícolas de la Provincia de Castellón*. Tesis para Optar el Grado de Doctor en la Universidad de Valencia. Págs. 420. España.
- Petruzelli, G. (2009). *La struttura e la composizione chimica del suolo in relazione all'applicabilità della fitorimediazione. Trattamenti naturali di depurazione: l'uso delle piante per la riqualificazione dei suoli ed il miglioramento della qualità delle acque*. A cura di Del Bubba M., Petruzelli G., Vagliasindi F.G.A. Ed. Santamaria A.; Págs 64.
- Picchi, Carolina. (2016). *Studio degli Affetti della Contaminazione da Arsenico nel Suolo su Cannabis Stiva L: Valutazione di Parametri di Crescita e Fisilogici, di Bioaccumillo, di Fitossicità e di Genotossicità*. Università di Pisa. Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. Italia. Págs. 190.
- Porta J., M. López C. Roquero (1993). *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Tercera edición. Págs. 917. México.
- Programa APGEP-SENREM. Convenio USAID-CONAM (2002). *Plan de Gestión Ambiental para el Desarrollo Sustentable en el Distrito de Parcoy*. Págs 117. Lima-Perú.

- RHIND (2015). *Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Adecuación de la Red de Vertimientos y Efluentes de la U.E.A Retamas, a los ECA y LMP*. Págs. 450. Lima – Perú.
- Romero Rojas, Jairo A. (2013). *Calidad del Agua*, 3ra Edición Norma. Págs 250. Bogotá. Colombia.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI (2014). *Información Meteorológica de la Zona de Parcoy*. Información Hidrométrica de Parcoy. Págs. 250.
- Soil, Taxonomy. (1999). *Soil Taxonomy*, Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Págs. 863. EE.UU.
- Soil Quality, Institute. (2000). *Soil Quality Institute: An Indicator*. Applied Soil Ecology. Vol. 15 Págs. 75-83
- Soil Survey Staff. (2010). *Keys To Soil Taxonomy*, 11 Th Edition. Washington USDA – NRCS. Págs. 620.
- Sposito, G. (1989). *The Chemistry Of Soils*, Oxford University Press, Págs 277.
- Smedley, PL end Kinniburgh, DG. (2002). A Review of The Source, Behaviour and Distribution of Arsenic in Natural Waters. *Article in Applied Gechemistry* 17(5): Págs. 527-568.
- Tacuri Q. Víctor, Carvajal R., Mirko., Ramírez A. Mavel. (2002). *Conocimiento Campesino en la Conservación de Suelos*, Editorial ISAL, Págs 416, Potosí – Bolivia.
- Tamaki, S.; Frankenberger, W. T. (1992). Environmental Biochemistry of Arsenic. *Review of Environmental Contamination and Toxicology*. V.124, Págs. 79-110.

- Tiller, K.G. (1989). *Heavy Metals in Soils and Their Environmental Significance*. Págs. 137. New York. EE. UU.
- Tricart, Jean; Cailleux, André. (1969). *Le modelé des Régions Séches. Traité de Géomorphologie*. Tome IV, SEDES. Págs 472. Paris. France.
- Vásquez Villanueva, Absalón (2000). *Manejo de Cuencas Altoandinas*, Ediciones de la Universidad Nacional Agraria. La Molina. Págs 516. Lima, Perú.
- Violante, A; Barberis, E.; Pigna, M.; Boero, V. (2003). *Factors Affecting the Formation Nature, and Properties of Iron Precipitation Products at the Soil-Root Interface*. J. of Plan Nutrition 26, Págs. 810.
- Wauchope, R.D. (1983). Uptake, Translocation and Phytotoxicity of Arsenic in Plants, in Arsenic: Industrial, Biomedical, *Environmental Perspectives*. Págs.348 - 374. New York. EE.UU.
- Zapata, R.D. (2003). *La Química de la Acidez del Suelo*, Ediciones de la Universidad Nacional de Colombia. Págs 170. Medellin, Colombia.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Indicadores	Metodología
<p><b>¿Cuáles son los procedimientos secuenciales y alternos para la identificación del origen de la contaminación de suelos por Arsénico, en el Centro Poblado de Llacuabamba, Distrito de Parcoy, Provincia de Pataz, Región La Libertad?</b></p> <p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>P1: ¿Cuál es la calidad de suelo por la presencia y disponibilidad del arsénico en los suelos del</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>“Identificar y evaluar el origen de la presencia de Arsénico en los suelos del Centro Poblado de Llacuabamba, distrito de Parcoy, Provincia de Pataz, Región La Libertad”.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar la presencia y disponibilidad del arsénico en el suelo del centro poblado de Llacuabamba.</li> <li>- Identificar el origen de la presencia de</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>“La explotación y beneficio de minerales de la actividad minera ha generado la contaminación de suelos por metales pesados, en especial arsénico que se ha depositado en el suelo del centro poblado de la comunidad campesina de Llacuabamba, sin embargo, también es posible que la presencia de arsénico en los suelos sea su origen natural por la génesis de formación del suelo.”</p> <p><b>Hipótesis Secundarias</b></p>	<p><b>Variables Independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presencia de arsénico en los suelos.</li> </ul> <p><b>Variables Dependientes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación de suelos, por arsénico.</li> <li>- Origen de la presencia de arsénico en el suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Índice de parámetros de los contaminantes de suelos.</li> <li>- Índice de arsénico encontrado en el suelo.</li> <li>- Superficie de suelo agrícola con metales pesados.</li> <li>- Número de hectáreas de suelos contaminados.</li> <li>- Contenido de arsénico y si supera los ECAS para suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recopilación de información en gabinete y campo.</li> <li>- Análisis y monitoreo de muestras de suelos en un laboratorio certificado.</li> <li>- Caracterización del medio físico y de los terrenos más contaminados</li> <li>- Determinación del origen del contaminante</li> </ul>

<p>centro poblado de Llacuabamba?                  P2: ¿Determinar cuál es el origen de la presencia de Arsénico en el suelo del centro poblado de Llacuabamba, debido a la actividad minera o de origen natural?                  P3: ¿Cuáles son los procedimientos alternos y secuenciales para la validación del origen de la contaminación de suelos por arsénico en Llacuabamba?.</p>	<p>Arsénico en el suelo del centro poblado de Llacuabamba si es debido a la actividad minera o de origen natural.</p> <p>- Desarrollar procedimientos alternos y secuenciales para la validación del origen de la contaminación de suelos por arsénico en Llacuabamba.</p>	<p>- La población que reside en el centro poblado de Llacuabamba sufre los efectos de la contaminación de arsénico presentes en el suelo.</p> <p>- El suelo a consecuencia de las operaciones mineras, los pasivos ambientales mineros cuentan con un contenido de arsénico siendo el suelo un depósito del contaminante y que afecta al ecosistema.</p> <p>- La presencia del arsénico en el suelo del centro poblado de Llacuabamba su origen es de forma natural debido a la génesis del suelo.</p>	<p>- Procedimiento secuencial y alterno en el suelo.</p>	<p>fijado por la legislación peruana.</p> <p>- Porcentaje de arsénico en los 10 cm del suelo.</p> <p>- Fondo Geoquímico y presencia de arsénico en la roca madre.</p>	<p>- Interpretación y procesamiento de datos.</p> <p>- Elaboración de propuestas y elaboración de informe final.</p>
---	--	--	--	---	--

---

## ANEXO 2. DISEÑO ESTADÍSTICO DEL ANÁLISIS DE CALIDAD DEL SUELO

El diseño estadístico aplicado para determinar la alteración en la calidad del suelo en el centro Poblado de Llacuabamba ha sido la Prueba t de Student, la cual es una prueba estadística que permite analizar muestras simples menores a 30 datos. Este diseño se ha aplicado para los resultados de monitoreo de suelo realizados en el año 2018; específicamente para el metaloide arsénico por ser materia de investigación de la presente tesis. El análisis se ha realizado por cada zona de muestreo (zona 1: rural, zona 2: industrial; zona 3: urbana) respecto a sus valores promedios mensuales versus el estándar de referencia para el elemento metálico; obteniéndose así los resultados que permitan aceptar o rechazar la hipótesis del investigador. Para la determinación de los resultados, se partirá de la premisa que cuando p es menor que  $\alpha$  (nivel de significancia asumido que es de 5%) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador. A continuación, se presenta los resultados del análisis estadístico planteado para el elemento en estudio.

### RESULTADOS ESTADÍSTICOS: ARSÉNICO

A continuación, se presentan los resultados de la Prueba Estadística T Student para muestras simples en las estaciones correspondiente a la Zona Rural; siendo éstas: E-1, E-2, E-3, E-4, E-12 y E-14 que forma parte del centro poblado de Llacuabamba, indicando que se plantearon las siguientes hipótesis:

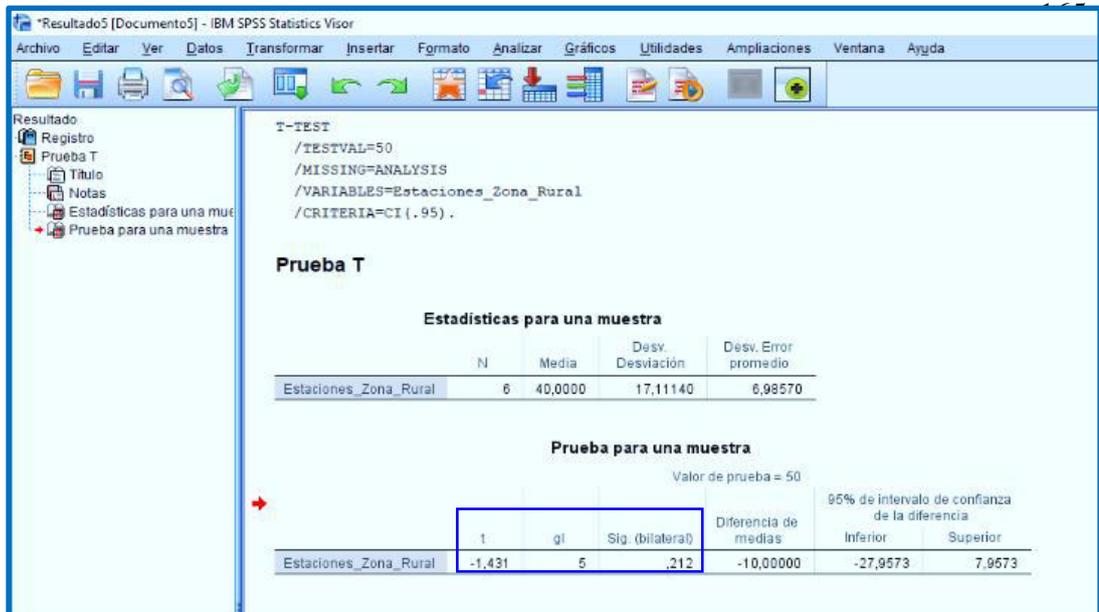
**Hipótesis nula  $H_0$**  :  $\mu \leq 0.05$  (no hay contaminación)

**Hipótesis del investigador  $H_1$**  :  $\mu > 0.05$  (si hay contaminación)

#### A. Arsénico en Zona Rural

Se han obtenido los siguientes resultados para la zona rural:

Parámetro	Resultado
Valor del estadístico de prueba (t)	-1.4
Grados de Libertad (gl)	5 ( es igual a N-1)
Valor p ( a dos colas)	0.212



Partiendo de la premisa que cuando  $p$  es menor que  $\alpha$  (nivel de significancia asumido que es de 5%) se rechaza la hipótesis nula. Para este caso como  $p$  (0.212) es mayor que el nivel de significancia asumido (5%) se rechaza la hipótesis del investigador y se acepta la hipótesis nula, corroborando estadísticamente que no hay contaminación por arsénico en ese período de tiempo en el cuerpo de receptor suelo de acuerdo a los resultados de muestreo en la estación de la zona rural.

## B. Arsénico en Zona Industrial

Se han obtenido los siguientes resultados para la zona industrial:

Parámetro	Resultado
Valor del estadístico de prueba (t)	5.1
Grados de Libertad (gl)	4 ( es igual a N-1)
Valor p ( a dos colas)	0.007

T-TEST  
 /TESTVAL=140  
 /MISSING=ANALYSIS  
 /VARIABLES=Estaciones\_Zona\_Industrial  
 /CRITERIA=CI (.95).

→ Prueba T

[ConjuntoDatos1] F:\INFO UNIDAD E\W\TESIS W\SPSS\AS\Muestra Arsénico-zona industrial.sav

**Estadísticas para una muestra**

	N	Media	Dev. Desviación	Dev. Error promedio
Estaciones_Zona_Industrial	5	472,4000	143,28398	64,07855

**Prueba para una muestra**

Valor de prueba = 140

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Estaciones_Zona_Industrial	5,187	4	,007	332,40000	154,4894	510,3106

Partiendo de la premisa que cuando  $p$  es menor que  $\alpha$  (nivel de significancia asumido que es de 5%) se rechaza la hipótesis nula. Para este caso como  $p$  (0.007) es menor que el nivel de significancia asumido (5%) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador, corroborando estadísticamente que si hay contaminación por arsénico en ese período de tiempo en el cuerpo receptor suelo de acuerdo a los resultados de muestreo en la estación de la zona industrial.

### C. Arsénico en Zona Urbana

Se han obtenido los siguientes resultados para la zona urbana:

Parámetro	Resultado
Valor del estadístico de prueba (t)	8.4
Grados de Libertad (gl)	5 ( es igual a N-1)
Valor p ( a dos colas)	0

T-TEST  
 /TESTVAL=50  
 /MISSING=ANALYSIS  
 /VARIABLES=Estaciones\_Zona\_Urbana  
 /CRITERIA=CI (.95) .

→ Prueba T

**Estadísticas para una muestra**

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estaciones_Zona_Urbana	6	115,1667	18,93586	7,73053

**Prueba para una muestra**  
 Valor de prueba = 50

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Estaciones_Zona_Urbana	8,430	5	,000	65,16667	45,2947	85,0386

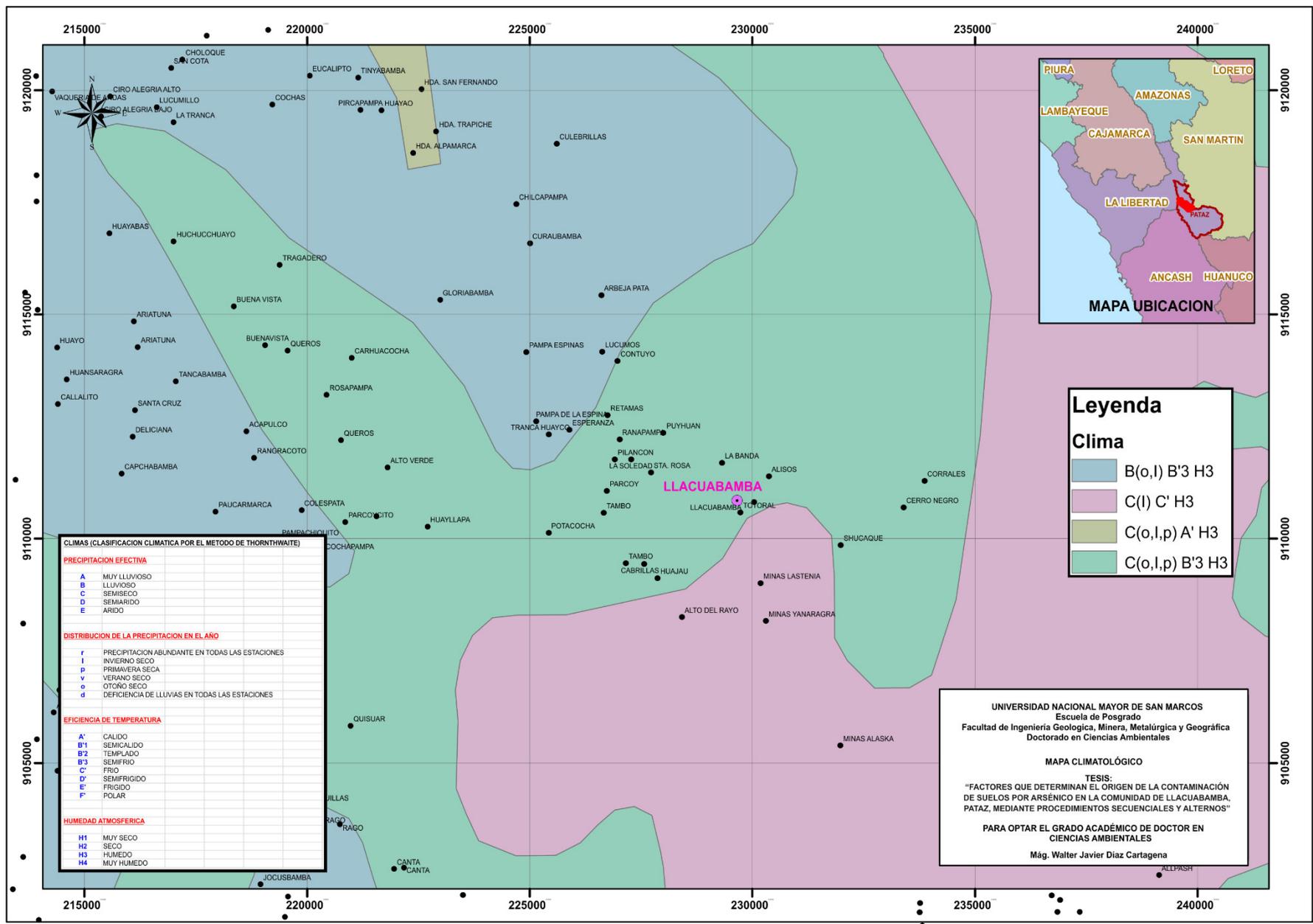
Partiendo de la premisa que cuando  $p$  es menor que  $\alpha$  (nivel de significancia asumido que es de 5%) se rechaza la hipótesis nula. Para este caso como  $p$  (0.00) es menor que el nivel de significancia asumido (5%) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador, corroborando estadísticamente que si hay contaminación por arsénico en ese período de tiempo en el cuerpo receptor suelo de acuerdo a los resultados de muestreo en la estación de la zona urbana.

### CONCLUSIÓN DEL ANALISIS ESTADÍSTICO:

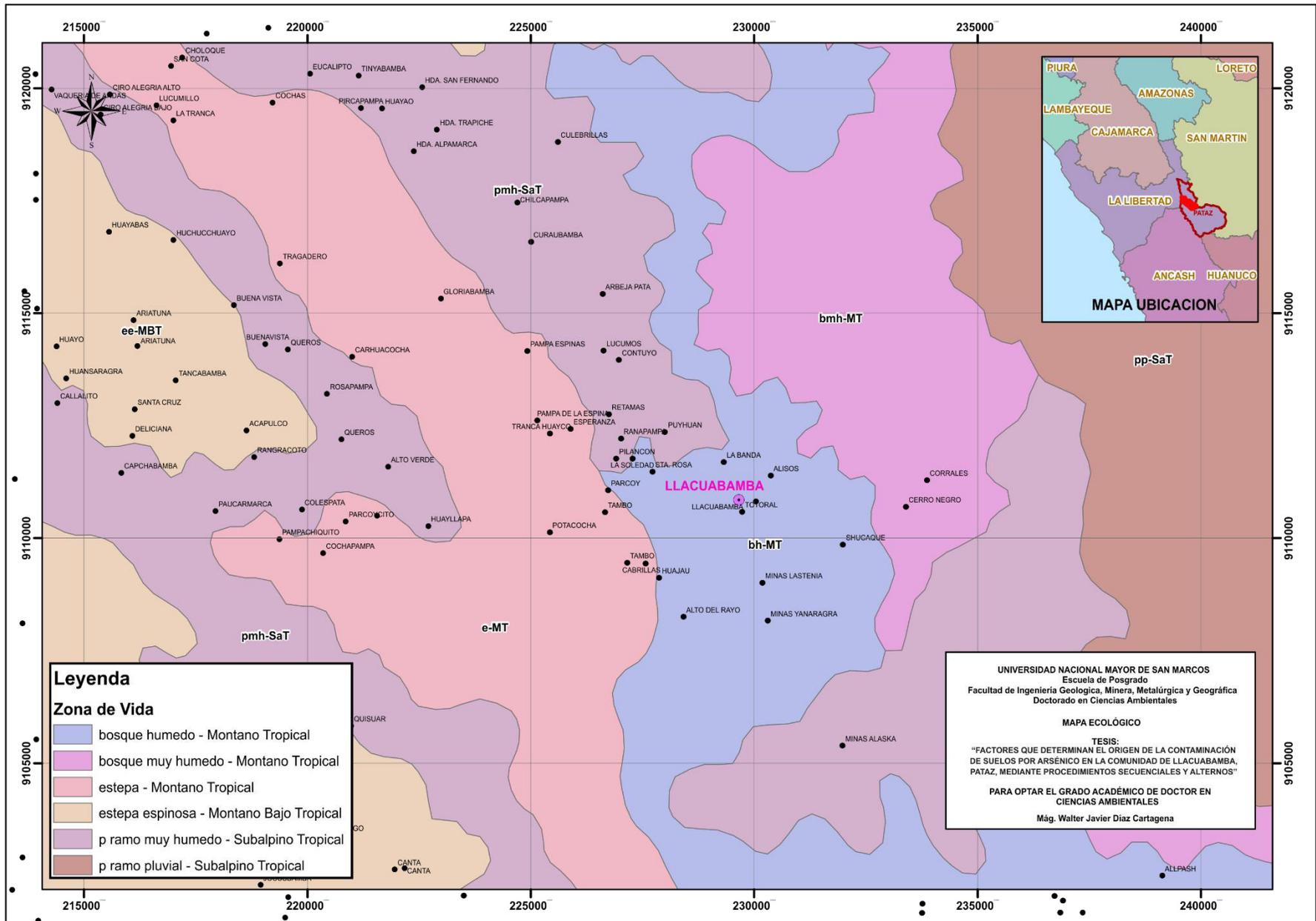
Respecto al análisis estadístico presentado con la Prueba T Student para los resultados de muestreo de calidad de suelo en el centro poblado de Llacubamba se concluye lo siguiente:

- **Arsénico en Zona Rural:**  
 En la estación rural se rechaza la hipótesis del investigador y se acepta la hipótesis nula, corroborando estadísticamente que **no hay contaminación por arsénico** en ese período de tiempo en el cuerpo de receptor suelo.
- **Arsénico en Zona Industrial:**  
 En la estación industrial se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador, corroborando estadísticamente que **si hay contaminación por arsénico** en ese período de tiempo en el cuerpo de receptor suelo.
- **Arsénico en Zona Urbana:**  
 En la estación urbana se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador, corroborando estadísticamente que **si hay contaminación por arsénico** en ese período de tiempo en el cuerpo de receptor suelo.

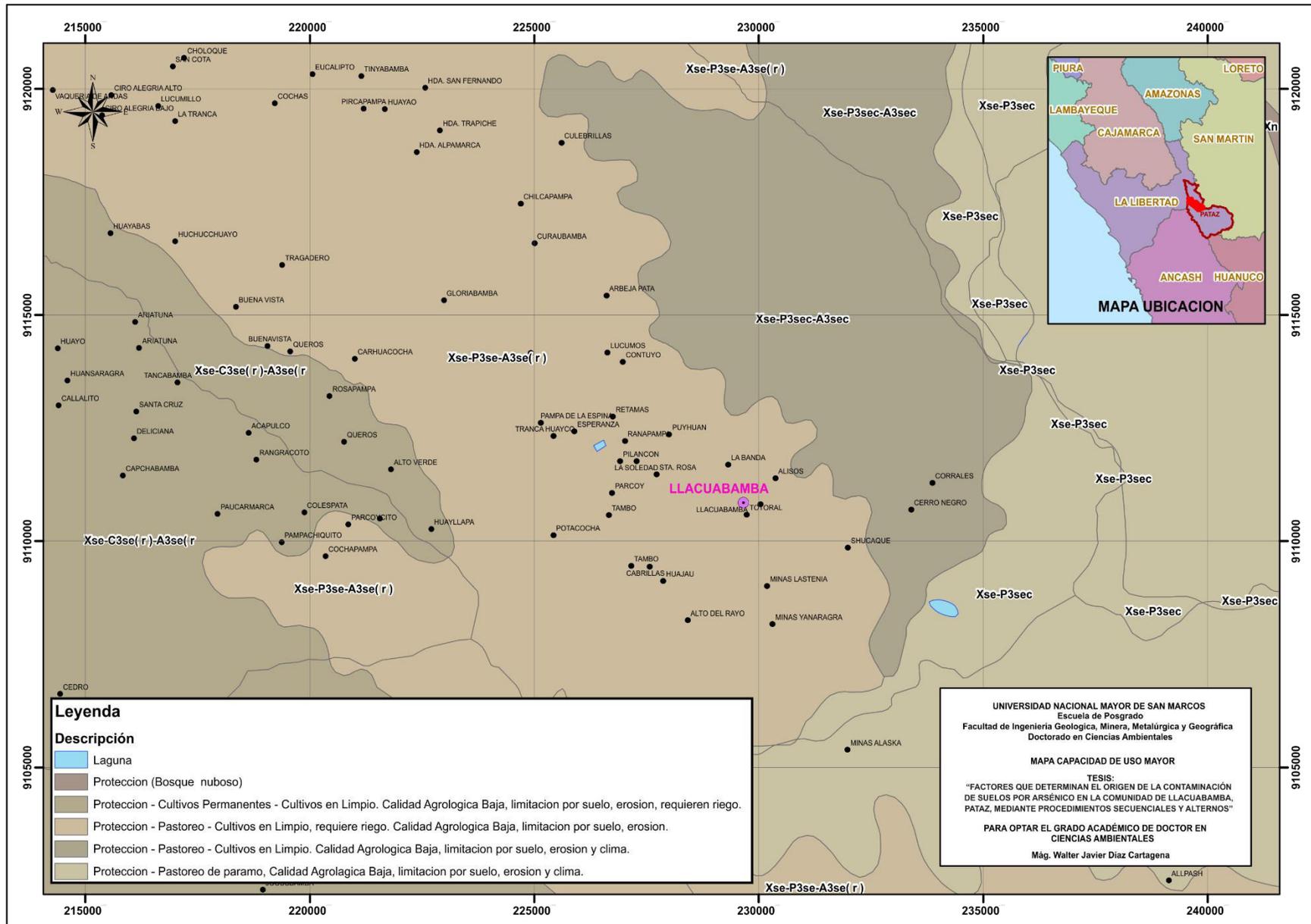
## **ANEXO DE MAPAS**



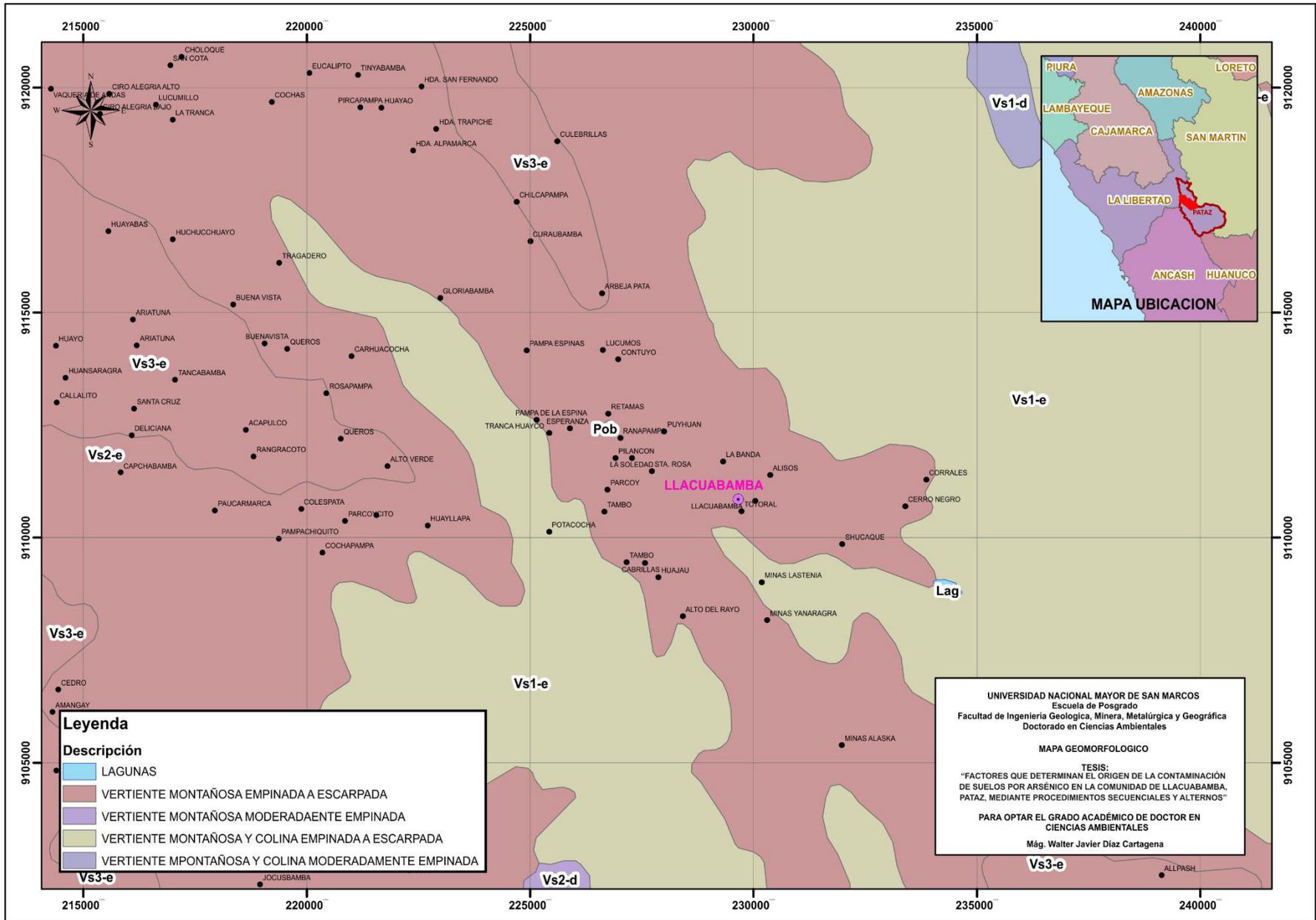
**ANEXO 3: MAPA CLIMATOLÓGICO**

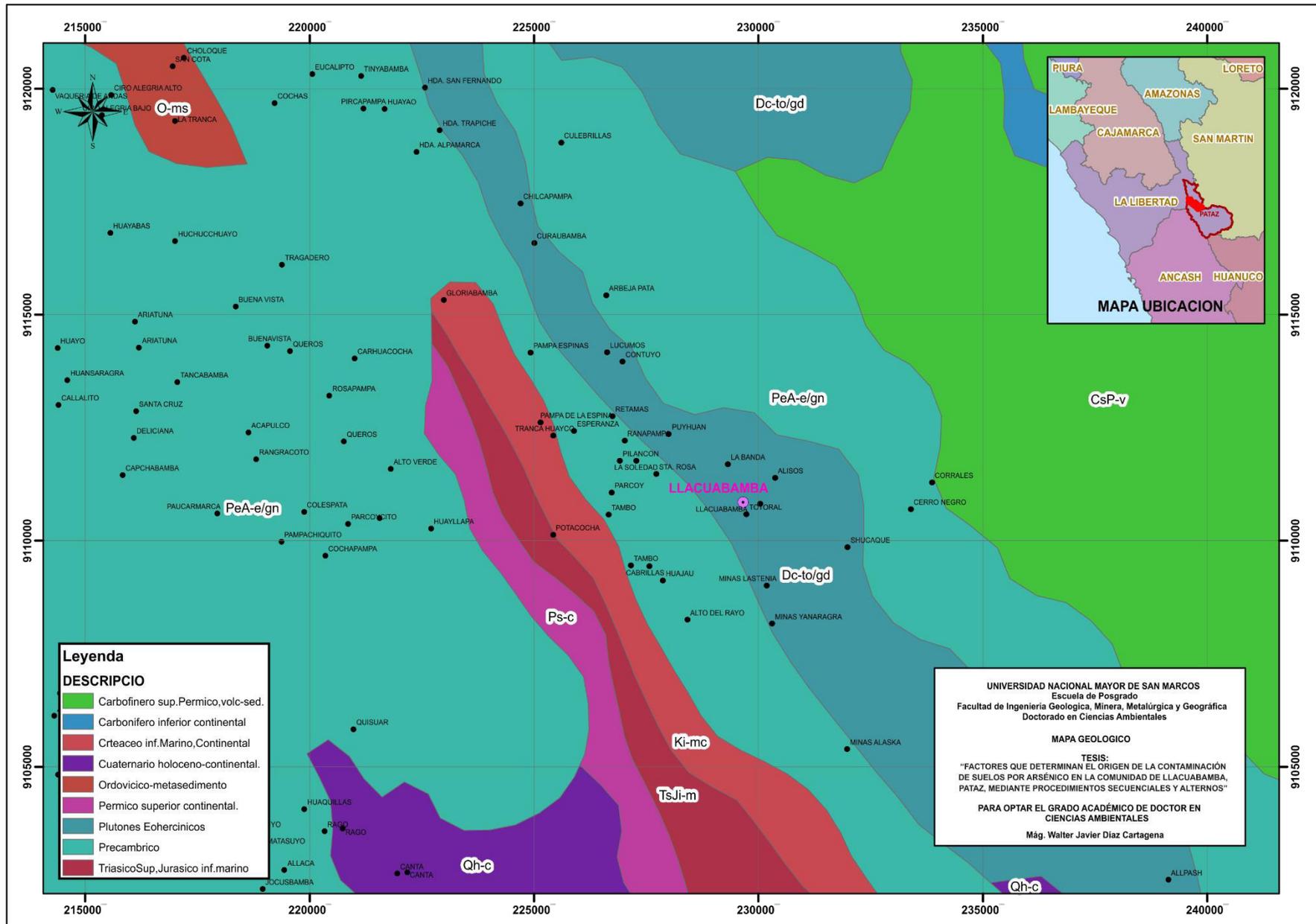


**ANEXO 4: MAPA ECOLÓGICO**

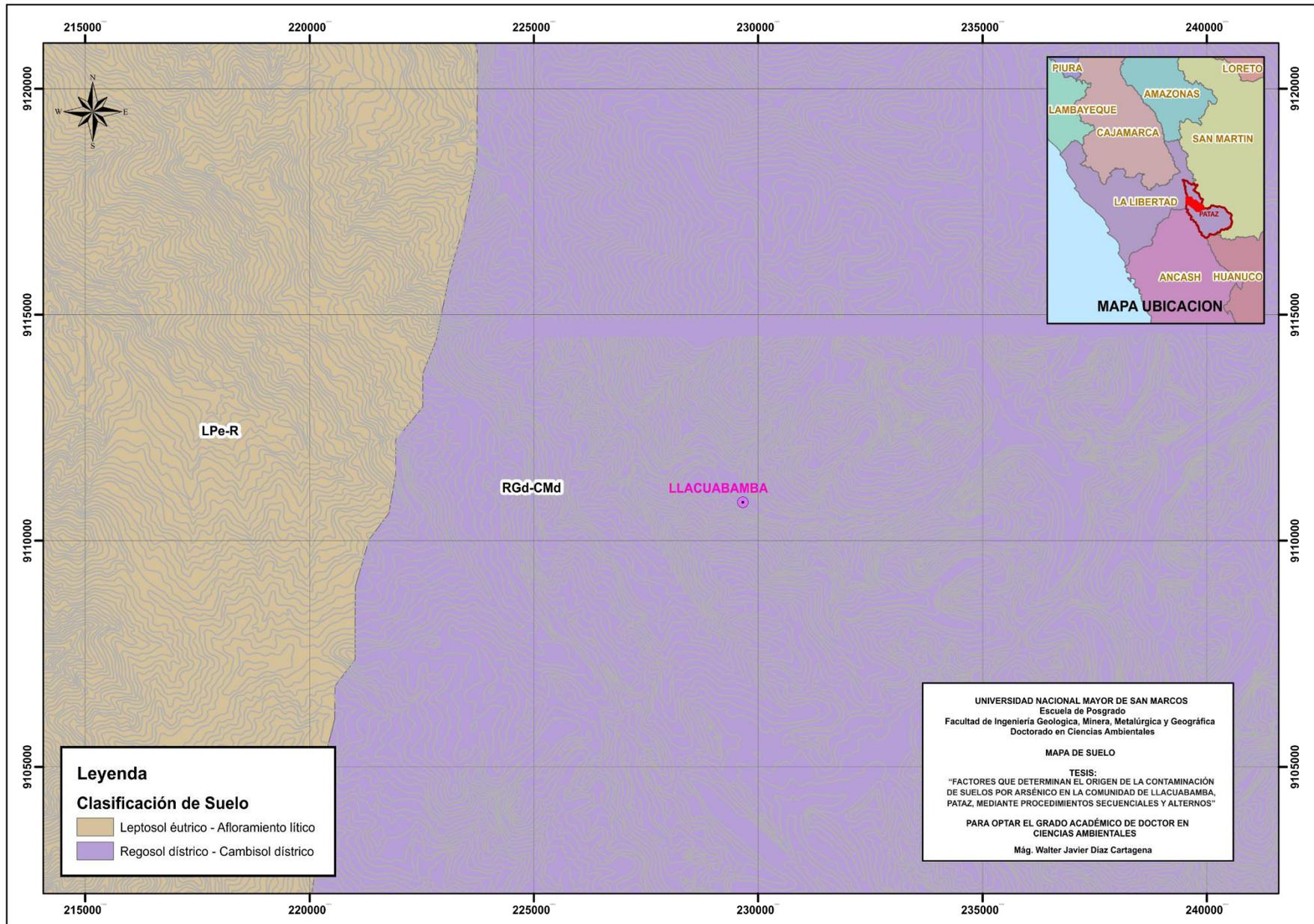


**ANEXO 5: MAPA CAPACIDAD DE USO MAYOR**

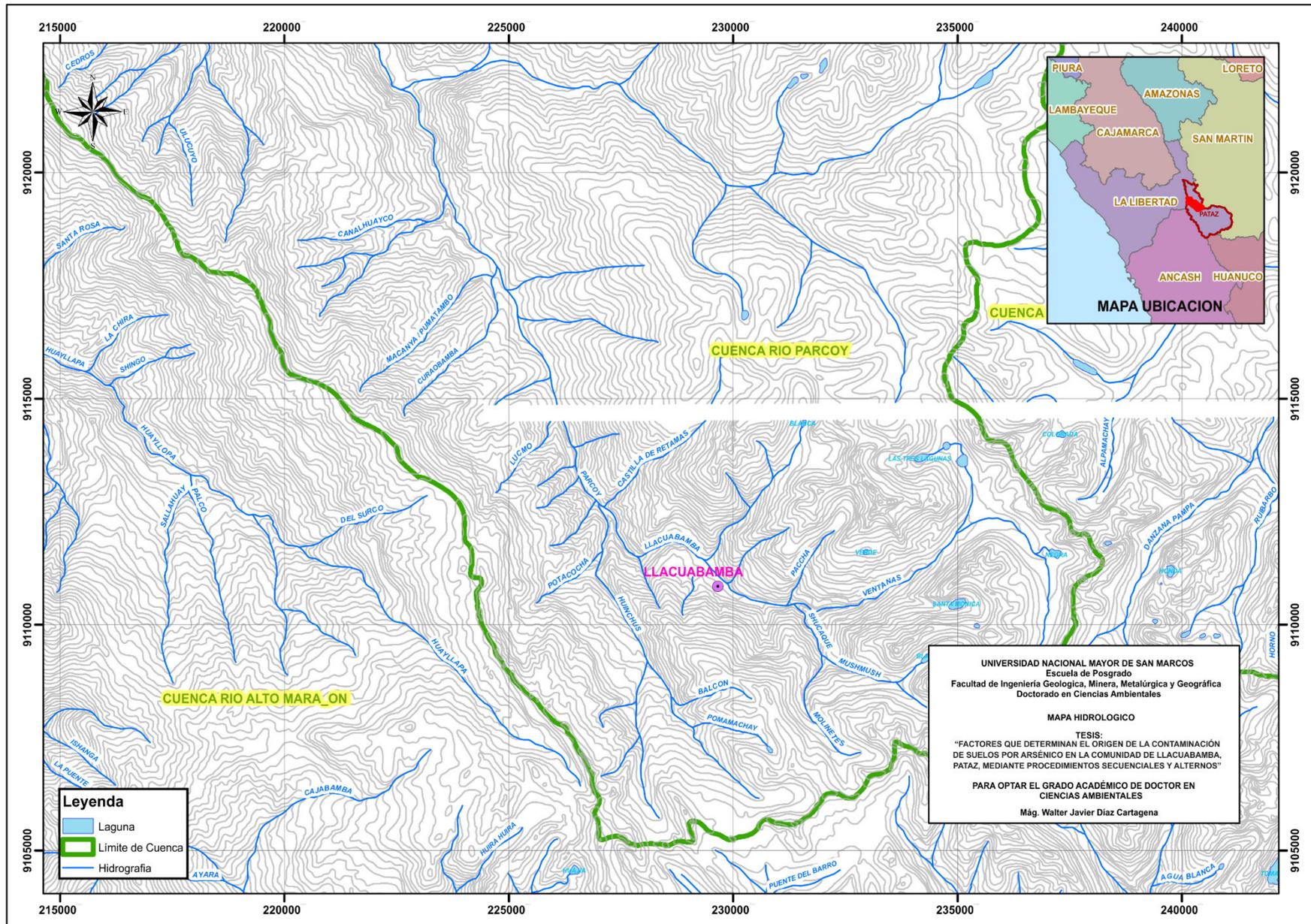




ANEXO 7: MAPA GEOLÓGICO



**ANEXO 8: MAPA DE SUELO**



ANEXO 9: MAPA HIDROLÓGICO