



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**“FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR  
RELAVES MINEROS A TRAVÉS DE PLANTA ENDÉMICA  
KIKUYO (*PENNISETUM CLANDESTINUM*) Y SU INFLUENCIA  
AMBIENTAL EN LA POBLACIÓN DE SARAMARCA - PALPA -  
ICA 2017”**

**PRESENTADO POR EL BACHICLLER:**

**EULER HUAMANI ALEGRÍA**

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

**ICA – PERÚ  
2017**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres y familiares por su apoyo y facilidades para poder culminar exitosamente esta etapa de mi vida, que me permite obtener mi título de Ingeniero Ambiental.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi Señor Dios que es mi inspiración para el cumplimiento de mis metas en mi vida personal.

A la Universidad Privada Alas Peruanas de Ica por brindarme a través de sus docentes conocimientos y valores que nos ayudan en la vida profesional.

Al cuerpo docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por todo los conocimientos y orientación impartidos a lo largo de nuestra formación académica profesional.

A mi Asesor al Ingeniero Guido Tenorio Palomino por el apoyo brindado en el desarrollo de mi investigación siendo, una gran participe de mis resultados. Así mismo a los miembros de mi jurado de tesis cuyas correcciones me hicieron profundizar mucho más en mi tema, aprender y apasionarme con él. Así mismo a todos los profesores que en algún comento opinaron de mi trabajo y que dieron luces de cómo realizarlo y mejorarlo.

A todas las personas y amigos que con su apoyo han hecho posible la realización de este trabajo.

## RESUMEN

La presente tesis titulada “Fitorremediación de suelos afectados por relaves mineros a través de planta endémica kikuyo (*pennisetum clandestinum*) y su influencia ambiental en la población de Saramarca - Palpa - Ica 2017” tiene como objetivo demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la disminución de la contaminación de los suelos afectos por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017. El estudio se desarrolló en tres etapas: en la primera se procedió a pedir el respectivo permiso oral al propietario del terreno, para utilizar una parte de su propiedad, ya que su terreno es uno de los más expuestos a la contaminación, es así que con su venia se procedió a adecuar el lugar, lo que permitió la manipulación y evaluación inicial o diagnóstica del suelo contaminado (pretest). En cuanto a la segunda etapa se procedió a ejecutar el proceso de fitorremediación que conllevó un periodo de 10 semanas. En este periodo de tiempo se procedió al acondicionamiento nutritivo del suelo para después proceder con la siembra de la planta endémica de kikuyo. Una vez sembrada la planta kikuyo esta fue regada de una a dos veces por semana con agua potable. Mientras que en la tercera etapa, una vez que la planta endémica kikuyo había crecido a una altura de 10 cm., se procedió a realizar la evaluación final respectiva (postest), tomando muestras del suelo, nuevamente en cinco puntos distintos del terreno a una profundidad 5 cm cada una para luego ser llevadas al laboratorio para su respectivo análisis. En base a los resultados obtenidos se ha logrado demostrar que la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la disminución de la contaminación de los suelos afectos por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

**Palabras claves:** fitorremediación, planta endémica, suelos contaminados, minería artesanal, relaves mineros.

## ABSTRACT

The present thesis entitled "Phytoremediation of soils affected by mining tailings through endemic plant Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) and its environmental influence in the population of Saramarca - Palpa - Ica 2017" aims to demonstrate that phytoremediation with the endemic plant Kikuyo influences in the reduction of the contamination of the soils affected by the mining tailings of the Saramarca population in Palpa in the year 2017. The study was developed in three stages: in the first one, the owner of the land was asked to give the respective oral permission to use part of his property, since his land is one of the most exposed to pollution, so that his arrival was proceeded to adapt the place, which allowed the manipulation and initial evaluation or diagnosis of contaminated soil (pretest). Regarding the second stage, the phytoremediation process was carried out, which entailed a period of 10 weeks. In this period of time we proceeded to the nutritious conditioning of the soil to later proceed with the sowing of the endemic plant of Kikuyo. Once the Kikuyo plant was planted, it was irrigated once or twice a week with potable water. While in the third stage, once the endemic Kikuyo plant had grown to a height of 10 cm, the respective final evaluation (posttest) was carried out, taking samples of the soil, again at five different points of the land at a depth 5 cm each to be later taken to the laboratory for its respective analysis. Based on the results obtained, it has been demonstrated that the application of phytoremediation with the endemic plant Kikuyo has a significant influence on the reduction of contamination of the soils affected by the mining tailings of the Saramarca population in Palpa in 2017.

**Keywords:** phytoremediation, endemic plant, contaminated soils, artisanal mining, mining tailings.

## INTRODUCCIÓN

La minería antigua en el Perú ha dejado muchos pasivos que la población continúa pagando en la actualidad. Según el MEM (Ministerio de Energía y Minas) el saldo de pasivos es de cerca de 7000 localizados principalmente en la Sierra peruana. Casos emblemáticos como los reportados en La Oroya y su elevada contaminación por plomo de alrededor de 3177 ppm en suelos (Reuer, 2012), son tan solo una muestra de lo que ha dejado a su paso una actividad que durante mucho tiempo trabajó sin el mayor cuidado ni respeto a las poblaciones locales y al medio ambiente. Asimismo, la tradición minera del país apunta a un incremento en el número de concesiones y posterior actividad minera.

Uno de los retos a los que nos enfrentamos como profesionales es el hecho de encontrar formas de recuperar los ecosistemas dañados a fin de que no sigan causando más problemas a la salud humana y a los ecosistemas, así como proponer soluciones de remediación de las nuevas zonas de uso minero. Muchos métodos para este fin se han desarrollado y se vienen investigando, sin embargo, la mayoría de las metodologías usadas tienen un elevado costo y demandan movilizaciones de terreno para ser tratado ex-situ, así como la aplicación de agentes químicos que pueden generar problemas adicionales de contaminación. Es por esto que se hace necesaria la búsqueda de formas alternativas de remediación de suelos que sean de fácil uso y costo, como a través de plantas.

Bajo este contexto, la fitorremediación o tratamiento con plantas, aparece como una potencial solución de remediación de suelos contaminados por metales pesados. Si bien es cierto, estas tecnologías biológicas tienen como principal desventaja el tiempo que puede tardar su puesta en marcha y la visualización de sus resultados, no implican una alteración del medio local; son métodos de tratamiento in-situ, amigables con el ambiente y poco costosos (Eapen y D'Souza, 2005). Asimismo,

muchas especies vegetales nativas de zonas contaminadas que han desarrollado a lo largo del tiempo cierta resistencia y tolerancia a estos contaminantes (metales y metaloides), pueden convertirse en candidatas para programas de fitorremediación.

Sobre los metales y metaloides, cabe recalcar que estos se transfieren del suelo a las plantas, dependiendo de la especiación química, pH del suelo, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, contenido de arcilla, carbonatos y potencial redox (Singh y Shhibba, 2010). En este sentido, las plantas pueden adoptar distintas estrategias para contrarrestar la toxicidad de metales en su entorno. Es así que unas plantas basan su resistencia a través de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras prefieren acumular el metal en la parte aérea, en una forma no tóxica para la planta (Llugany, citado por Chávez, 2014). Existen ciertos factores que permiten conocer la capacidad que tienen las plantas para absorber y traslocar metales del suelo a la parte aérea (Lokeshwari y Chandrappa, citados por Chávez, 2014). Al respecto, el presente estudio ha buscado demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la disminución de la contaminación de los suelos afectos por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

El autor.

## TABLA DE CONTENIDOS

CARÁTULA .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
TABLA DE CONTENIDOS.....	viii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	13
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	13
1.2. Delimitación y Definición del Problema.....	15
1.2.1. Delimitaciones .....	15
1.2.2. Definición del Problema .....	21
1.3. Formulación del Problema.....	26
1.3.1. Problema principal .....	26
1.3.2. Problemas secundarios.....	26
1.4. Objetivos de la Investigación .....	27
1.4.1. Objetivo general.....	27
1.4.2. Objetivos específicos .....	27
1.5. Hipótesis de la Investigación .....	28
1.5.1. Hipótesis principal.....	28
1.5.2. Hipótesis secundarias .....	28
1.6. Variables e Indicadores .....	28
1.6.1. Variable independiente .....	28
1.6.2. Variable dependiente .....	29
1.7. Viabilidad de la investigación .....	29
1.7.1. Viabilidad técnica .....	29
1.7.2. Viabilidad operativa.....	29
1.7.3. Viabilidad económica .....	30
1.8. Justificación e Importancia de la Investigación .....	30



1.8.1. Justificación .....	30
1.8.2. Importancia .....	31
1.9. Limitaciones de la Investigación .....	34
1.10. Tipo y Nivel de la Investigación .....	35
1.10.1. Tipo de investigación .....	35
1.10.2. Nivel de investigación .....	35
1.11. Método y Diseño de la Investigación .....	35
1.11.1. Método de la investigación.....	35
1.11.2. Diseño de la investigación .....	36
1.12. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información .....	36
1.12.1. Técnicas .....	36
1.12.2. Instrumentos .....	37
1.13. Cobertura de Estudio .....	38
1.13.1. Universo .....	38
1.13.2. Muestra.....	38
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	40
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	40
2.2. Marco Histórico .....	45
2.3. Marco Teórico .....	47
2.3.1. Fitorremediación .....	47
2.3.2. Contaminación de suelos por relaves mineros .....	64
2.3.3. Antecedentes de relaves mineros en el Perú – caso Puno ...	65
2.3.4. La capacidad de fitoextraer de kikuyo (PENNISETUM CLANDESTINUM) .....	70
2.3.5. Goemecánica de suelos en Saramarca .....	82
2.4. Marco Conceptual .....	85
CAPÍTULO III: SOLUCIÓN PROPUESTA .....	89
3.1. Análisis de la solución propuesta .....	89
3.1.1. Análisis estratégico .....	89
3.1.2. Análisis funcional .....	90
3.1.3. Etapas de la solución .....	90
3.2. Estudio de factibilidad .....	92

3.2.1. Factibilidad técnica .....	92
3.2.2. Factibilidad operativa .....	92
3.2.3. Factibilidad económica.....	92
3.2.4. Factibilidad legal .....	93
3.3. Metodología .....	93
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS</b>	
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>95</b>
4.1. Análisis de resultados .....	95
4.1.1. Resultados obtenidos en el pretest .....	95
4.1.2. Resultados obtenidos en el postest .....	102
4.2. Prueba de hipótesis.....	109
4.2.1. Prueba de la hipótesis principal .....	109
4.2.2. Prueba de la hipótesis secundaria N° 1 .....	111
4.2.3. Prueba de la hipótesis secundaria N° 2 .....	117
4.2.4. Prueba de la hipótesis secundaria N° 3 .....	119
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>122</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>122</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>123</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>129</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Resultados obtenidos en el pretest: suelo con concentración de mercurio.	95
Gráfico 02	Resultados obtenidos en el pretest: suelo con concentración de plomo.	96
Gráfico 03	Resultados obtenidos en el pretest: suelo con concentración de arsénico.	97
Gráfico 04	Resultados obtenidos en el pretest: suelo con concentración de cadmio.	98
Gráfico 05	Resultados obtenidos en el pretest: imagen paisajística.	99
Gráfico 06	Resultados obtenidos en el pretest: Economía que rodeo los quimbaletes.	100
Gráfico 08	Resultados obtenidos en el postest: suelo con concentración de mercurio.	102
Gráfico 09	Resultados obtenidos en el postest: suelo con concentración de plomo.	103
Gráfico 10	Resultados obtenidos en el postest: suelo con concentración de arsénico.	104
Gráfico 11	Resultados obtenidos en el postest: suelo con concentración de cadmio.	105
Gráfico 12	Resultados obtenidos en el postest: imagen paisajística.	106
Gráfico 13	Resultados obtenidos en el postest: Economía que rodeo los quimbaletes.	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01	Resultados obtenidos en el pretest: suelo con concentración de mercurio.	95
Tabla 02	Resultados obtenidos en el pretest: suelo con concentración de plomo.	96
Tabla 03	Resultados obtenidos en el pretest: suelo con concentración de arsénico.	97
Tabla 04	Resultados obtenidos en el pretest: suelo con concentración de cadmio.	97
Tabla 05	Resultados obtenidos en el pretest: imagen paisajística.	98
Tabla 06	Resultados obtenidos en el pretest: Economía que rodeo los quimbaletes.	99
Tabla 07	Resultados de análisis de caracterización de suelo	100
Tabla 08	Resultados obtenidos en el postest: suelo con concentración de mercurio.	102
Tabla 09	Resultados obtenidos en el postest: suelo con concentración de plomo.	103
Tabla 10	Resultados obtenidos en el postest: suelo con concentración de arsénico.	104
Tabla 11	Resultados obtenidos en el postest: suelo con concentración de cadmio.	104
Tabla 12	Resultados obtenidos en el postest: imagen paisajística.	105
Tabla 13	Resultados obtenidos en el postest: Economía que rodeo los quimbaletes.	107
Tabla 14	Resultados del pretest y postest caracterización del suelo	108

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

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

La creciente contaminación de los suelos y del agua, derivada de la actividad industrial como la minería, plantea un desafío sobre cómo remediar las áreas contaminadas por la operación y funcionamiento de las mismas, que en su etapa de Cierre de Mina tienen una mayor dificultad para solucionar el problema de la concentración de contaminantes acumulados en depósitos de relaves, con potencial para dañar el medio ambiente y elevada capacidad de resistencia a la biodegradación (López, 2009)

La fitorremediación es una tecnología alternativa y sostenible; que consiste en el uso de plantas para reducir, degradar o inmovilizar compuestos orgánicos e inorgánicos considerados como contaminantes (naturales o sintéticos), del suelo, el agua o del aire. Se ha encontrado especies con la capacidad de almacenar metales pesados en alta concentración presentes en el suelo (hiperacumuladoras) y que resultan potencialmente tóxicos como U, Cd, Pb, Zn, Cu, Fe, Ni, Se, etc. (Baldwin y Butcher, 2007). Existe estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA US) sobre la factibilidad de fitorremediación de metales pesados, habiendo cuatro mecanismos de absorción de metales en plantas: fitoextracción, fitovolatilización, fitoestabilización y rizofiltración. (Barid, 2010)

En México existe listados botánicos de especies arbóreas fitorremediadoras de suelos contaminados y, en algunos casos, en aguas contaminadas. También hay especies para remover metales pesados, como el Sauce, Acacia, Mimosa, Anadenantera, Genipa americana y Eucalyptus; que han sido usados para la remoción de Cd, Pb y Cr. (López, 2009)

La Universidad Católica de Santa María de Arequipa realizó también un trabajo experimental con especies serranas dándoles buen resultado. La fitorremediación es una tecnología alternativa de bajo costo utilizada para descontaminar suelos con metales pesados. En este ensayo se evaluó el uso de especies forestales de la sierra peruana (Acacia visco, Buddlejaceae para el tratamiento de relaves mineros. Se evaluó el desarrollo de las especies plantadas en relave minero durante 27 semanas y se hizo un análisis fisicoquímico al relave para determinar el pH y la concentración de elementos químicos. Las especies forestales demostraron tener gran tolerancia a suelos contaminados y se obtuvo una remoción de los elementos químicos: antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plata (Ag) y plomo (Pb). (López, 2009)

El objetivo de este trabajo es evaluar la aplicabilidad de especies forestales endémicas peruana, para el tratamiento de fitorremediación en relaves mineros en la población de Saramarca – Palpa en el año 2017.

La tecnología de fitorremediación ha sido ampliamente estudiada y se conocen varias especies de plantas con capacidad para “hiperacumular” selectivamente alguna sustancia; como la alfalfa, remolacha, col, tabaco, girasol, jamaica, mostaza india, entre otros. Pero, en su mayoría, se tratan de especies comestibles; lo cual significa un riesgo potencial por su consumo. En el caso particular de esta investigación, los depósitos de relaves pueden alcanzar cientos de miles de metros cúbicos, lo que significa que el material contaminado abarca grandes volúmenes. Entonces, a gran escala la remoción de metales utilizando árboles puede

ser más eficaz, principalmente debido al enraizamiento más profundo y un mayor rendimiento de biomasa. Teniendo en consideración lo antes mencionado y, el estrato ecológico donde se ubica la mayoría de minas en el Perú, se seleccionó 1 especie forestal endémica (KIKUYO). (López, 2009)

Los relaves mineros podrían ser tratados aplicando la técnica de fitorremediación con especies forestales que habitan en la sierra peruana. Las especies forestales seleccionadas demostraron tener la capacidad de tolerar suelos contaminados con relaves o metales pesados (especies metaltolerantes) y además tienen la capacidad de remediar los sitios contaminados, elevando el pH ácido y removiendo los elementos químicos del medio contaminado. (López, 2009)

## **1.2. Delimitación y Definición del Problema**

### **1.2.1. Delimitaciones**

#### **A. Delimitación Espacial**

El estudio se ha llevado a cabo íntegramente en la población denominada Saramarca de la Provincia de Palpa, lugar en donde existen los quimbaletes de relaves mineros informales.

#### **B. Delimitación Temporal**

El estudio se ha desarrollado en un periodo de 7 meses, es decir, durante los meses de enero a julio del año 2017.

#### **C. Delimitación Social**

El estudio ha tenido una connotación social entre la población afectada de Saramarca de la Provincia de Palpa, ya que se ha buscado mejorar la calidad de vida del poblador de esta zona, de manera particular, se busca mejorar la calidad de vida de muchos adolescentes y niños afectados por los metales pesados encontrados en los relaves mineros de la zona.

## **D. Delimitación Conceptual**

En el presente estudio se ha investigado sobre el papel que desempeña la especie forestal kikuyo, especie forestal endémica de la zona de Palpa, en los suelos que han sido contaminados por los metales pesados que se han generado como producto de los relaves mineros.

### ➤ **Tecnología de información**

La rizosfera es el volumen de suelo sometido a la influencia de la actividad de las raíces. Este volumen de suelo es más o menos importante y varía en función de las plantas y el tipo de suelo. Los procesos que ocurren en la zona de las raíces son esenciales para la fitorremediación. La actividad y la biomasa microbiana son mucho mayores allí que en el suelo sin raíces. Las raíces liberan sustancias naturales en el suelo donde crecen, por medio del exudado de las raíces. Promueven y mantienen el desarrollo de colonias microbianas, proporcionándoles de un 10-20% del azúcar producido por la actividad fotosintética de la planta. Son liberados muchos compuestos, por ejemplo, hormonas, enzimas, oxígeno y agua. Los microorganismos rizosféricos, a su vez, promueven el crecimiento de la planta (reducción de los patógenos, puesta a disposición de nutrientes). En teoría, cuanto mayor sea la abundancia de raíces, con mayor abundancia van a proporcionar un área de desarrollo importante a la microflora y microfauna de la rizosfera. De hecho, los exudados radiculares promueven la biodegradación de la contaminación orgánica, estimulando la actividad micromicrobiana. (Becerril, 2007)

Las plantas van a absorber el contaminante para metabolizarlo o almacenarlo, reduciendo o evitando la liberación de contaminantes en otras zonas del medio (fitoestabilización).



Con mucha frecuencia, los compuestos orgánicos (xenobióticos o no) puede ser degradados y metabolizados para el crecimiento de la planta. La contaminación se elimina así. En el caso de los compuestos inorgánicos contaminantes (metales, metaloides y radionucleidos), únicamente es posible su fitoestabilización o fitoextracción, porque estos tipos de agentes contaminantes no son biodegradables. (Becerril, 2007)

La fitorremediación se puede clasificar de acuerdo a su tipo de extracción en in y ex planta. En el caso de la contaminación por metales pesados y por compuestos orgánicos de alta y media solubilidad, como herbicidas, plaguicidas, solventes y explosivos, la extracción, acumulación o volatilización por la planta, en general, aporta un porcentaje relevante de la remoción debido a la mayor movilidad de estos compuestos hacia y en la planta. Lo anterior no se aplica en la remoción de la mayor parte de los componentes de los HTP y otros contaminantes orgánicos de baja solubilidad, pues el papel directo de la planta en la extracción y remoción no es tan relevante. Esto se debe a que el contenido de materia orgánica, la solubilidad del compuesto y el propio suelo son barreras que tiene que superar un contaminante hidrofóbico para llegar a establecer contacto con la planta. Aunque si se analiza el fenómeno en otras condiciones físicas (en especial sin suelo), la planta puede tener respuestas complejas ante la presencia de un contaminante hidrófobo o hidrófilo y puede responder, de diversas maneras, a los efectos tóxicos que puede ejercer. (Becerril, 2007)

➤ **Gestión del proceso escogido**

Las plantas seleccionadas en la fitoextracción son elegidos por su capacidad de extraer grandes cantidades de contaminantes. Son plantas llamadas hiperacumuladoras. Las

características comunes a estas plantas son: un rápido crecimiento; plantas resistentes y fáciles de arraigar y mantener; una alta capacidad de evapotranspiración (evaporación del agua a través de hojas) y la capacidad de transformar los contaminantes en productos no tóxicos o menos tóxicos. Entre las plantas más utilizadas están los álamos, que tienen un rápido crecimiento, adaptación climática grande y la capacidad de absorber grandes cantidades de agua (en relación con otras especies). Esta última cualidad les permite manejar grandes cantidades de contaminantes disueltos, así como limitar la cantidad de agua que escapa más allá de la zona contaminada - lo que limita también la dispersión de la contaminación. (Becerril, 2007)

En 1998 Rieuwerts listaron 320 especies acumuladoras provenientes de 43 familias. Su número es mucho mayor: por ejemplo, hasta la fecha (2006) se conocen cerca de 300 plantas hiperacumuladoras de níquel. Los centros de biodiversidad están en Cuba (clima subtropical) y Nueva Caledonia (clima tropical). Muchas de las especies estudiadas por su acumulación de metales son Brassicaceas (clima templado y frío, hemisferio norte). (Becerril, 2007)

El equipo de investigación de Abdelhak El Amrani de la Universidad de Rennes, ha trabajado en diversos contaminantes, especialmente en el herbicida atrazina. Estos investigadores han descubierto un mecanismo en algunas plantas que les permite prosperar incluso cuando la concentración de la contaminación de los suelos en los que se hallan es normalmente letal para una planta no tratada. La presencia de algunos compuestos naturales biodegradables como las poliaminas exógenas, permite a las plantas tolerar concentraciones de contaminación 500 veces más

alta en comparación con las plantas control. Este tratamiento da lugar a cambios en la expresión génica de las plantas, que afectan a genes conocidos en el proceso de resistencia al estrés ambiental. La técnica genética ha sido patentada por la Universidad de Rennes. (Becerril, 2007).

La fitoacumulación está relacionada con la fitotolerancia de la planta hacia los contaminantes. La toxicidad de algunos contaminantes puede reducirse mediante la reducción química de los elementos implicados, que se transforman así en sustancias menos contaminantes, y/o mediante la incorporación de componentes orgánicos (otra forma de biotransformación). Para ello, se puede quelatar contaminantes con [[ligando (química) |ligandos] específicos que disminuyen la cantidad de iones libres. Se han llevado a cabo experimentos en electrocinética: el suelo se somete a una corriente directa para promover el movimiento de iones en el suelo. (Becerril, 2007)

La interacción entre la fitorremediación y la biorremediación in situ (uso en el suelo de microorganismos, o sus enzimas) también se está estudiando. El campo de la ingeniería genética orientada hacia la fitorremediación está teniendo un gran desarrollo. En los ecosistemas andinos situados por encima de los 3300 m de altitud se forman las cabeceras de las cuencas de las Vertientes Occidental y Oriental de los Andes, aquí podemos encontrar praderas de pastizales, parches de bosques, matorrales y bofedales (Young, 1997), muchos de ellos amenazados por la minería y actividades asociadas. Las actividades mineras depositan sus residuos con metales pesados en la superficie del entorno minero causando la contaminación del suelo, y representando un problema ambiental de gran preocupación mundial (Alkorta, 2010).

En general, los suelos originales de las minas se degradan o se pierden irreversiblemente, generando nuevos suelos modificados formados por materiales poco aptos para el desarrollo de procesos biológicos (Becerril, 2007). Las consecuencias directas de esta contaminación del suelo son la desaparición de la vegetación, pérdida de su productividad y disminución de la biodiversidad; indirectamente se menciona la contaminación del aire, y aguas superficiales y subterráneas (Wong, 2003).

Sin embargo, existen las denominadas plantas metalófitas, que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos degradados por actividades mineras (Becerril, 2007). Estas especies pueden restringir la absorción los metales o translocarlos hacia las hojas o absorberlo y acumularlo activamente en su biomasa aérea (Baker y Proctor 1990). Algunas plantas modifican las condiciones de la rizósfera produciendo exudados radiculares o la alterando el pH (Adriano, 2001). Los grados de acumulación metálica van desde trazas hasta más del 1% de la materia seca de la planta (Diez, 2008).

Actualmente para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados se tienen varias tecnologías (Diez 2008), estas generalmente recurren al uso de plantas metalófitas que pueden utilizarse en los procesos de fitorrestauración y fitorremediación para recuperar sedimentos y aguas contaminadas por metales pesados, eliminando los contaminantes del ambiente o haciéndolos inocuos (Salt, Smith y Raskin, 1998).

Por otro lado, están siendo investigadas las denominadas plantas hiperacumuladoras, aquellas capaces de acumular más

de 1000 mg de Níquel por kilogramo de materia seca, o más de 10000 mg kg<sup>-1</sup> de Mn y Zn, más de 1000 mg kg<sup>-1</sup> de Co, Cu, Ni y Pb y más de 100 mg kg<sup>-1</sup> de Cd (Brooks et al. 1977, Baker et al. 2000), que podrían usarse en las diferentes técnicas de fitorremediación. (Salt, Smith y Raskin, 1998)

El presente trabajo informa los resultados de un experimento que evalúa la capacidad de fitorremediación de tres especies forestales endémicas de la zona alta de Palpa, en relaves y suelos contaminados con plomo, zinc y cadmio. (Salt, Smith y Raskin, 1998).

### **1.2.2. Definición del Problema**

Hasta hace poco, las únicas tecnologías de descontaminación de suelos estaban basadas en técnicas físico-químicas que, en muchas ocasiones, conllevan un alto coste económico, un elevado consumo de energía y, sobre todo, un impacto negativo, a menudo irreversible, sobre la integridad y funcionalidad de los suelos. Por suerte, en los últimos años, han surgido un conjunto de tecnologías biológicas de descontaminación de suelos entre las que se puede destacar la biorremediación (o utilización de microorganismos para degradar compuestos contaminantes) y la fitorremediación, mediante el uso de plantas, de la que trata este artículo.

El suelo es un recurso natural de enorme importancia cuya salud está ligada a la supervivencia de nuestra especie. Por desgracia, en las últimas décadas, este recurso ha sufrido una importante degradación como consecuencia de un conjunto de amenazas, léase, erosión, pérdida de materia orgánica, impermeabilización o sellado (por la construcción de viviendas, carreteras y otras infraestructuras), compactación (derivada de la utilización de maquinaria pesada, la intensidad del pastoreo, etc.),

disminución de la biodiversidad, salinización, inundaciones, deslizamientos de tierras y, por último, pero no menos importante, contaminación.

La alarmante problemática de los suelos contaminados se ha traducido en la contaminación progresiva, con una miríada de compuestos químicos, de una enorme superficie de suelo a escala mundial, resultado de un desarrollo industrial poco respetuoso con el medio ambiente. Entre las principales causas de acumulación de compuestos contaminantes en el suelo se pueden destacar las emisiones atmosféricas, los vertidos procedentes de procesos químicos industriales, el inadecuado depósito de residuos, la intensificación de la agricultura y la minería. En particular, se estima que dentro de la Unión Europea existen aproximadamente 3,5 millones de emplazamientos en los que se llevan a cabo actividades potencialmente contaminantes de este valioso recurso. (Comisión de las Comunidades Europeas, 2006).

Es importante enfatizar que el suelo nos suministra de forma gratuita un conjunto de funciones y servicios de excepcional trascendencia y repercusión económica y medioambiental entre los que podemos subrayar la producción de biomasa (alimentos, fibra y combustible), la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de los nutrientes, la depuración del agua, la regulación de la calidad del aire, la eliminación de contaminantes (incluidos gases invernadero), etc. Por ello, sin duda, es esencial que nuestra sociedad acometa a la mayor brevedad posible la recuperación de los suelos degradados y, en particular, la remediación de los emplazamientos contaminados, para así garantizar la sostenibilidad de estos servicios para las generaciones venideras. (Comisión de las Comunidades Europeas, 2006).

La fitorremediación es una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes, que en la actualidad está siendo aplicada en diversos países para recuperar suelos contaminados tanto con compuestos orgánicos como inorgánicos. Frente a las tradicionales técnicas físico-químicas, la fitorremediación presenta diversas ventajas entre las que se puede destacar su menor coste económico, su aproximación más respetuosa con los procesos ecológicos del ecosistema edáfico, y el hecho de ser una tecnología social, estética y ambientalmente más aceptada. Por ello, no es de extrañar que la fitorremediación se contemple cada vez más como una alternativa medioambientalmente respetuosa, frente a las técnicas físico-químicas. (Salt, Smith y Raskin, 1998).

Es importante recordar que el término fitorremediación engloba una serie de fitotecnologías diferentes en lo concerniente, sobre todo, a los mecanismos fisiológicos implicados en la recuperación de los suelos contaminados (por ej., fitoextracción, fitovolatilización, fitodegradación, rizofiltración, fitoestabilización, etc.), cuya explicación excede los objetivos de este artículo. (Salt, Smith y Raskin, 1998).

Dentro del campo de la fitorremediación, la fitoextracción es la fitotecnología más prometedora para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, los cuales suelen presentar una alta persistencia en los suelos (al fin y al cabo, a diferencia de los contaminantes orgánicos, no hay que olvidar que los metales pesados no pueden degradarse por procesos químicos ni biológicos). La fitoextracción se basa en el hecho de que, mediante diversos procesos fisiológicos, las plantas pueden actuar como bombas de succión, alimentadas por energía solar a través de la

fotosíntesis, que literalmente extraen los metales del suelo a través de sus raíces para después acumularlos en sus tejidos aéreos. Una vez que las plantas han acumulado los metales en sus tejidos aéreos, se cosechan y posteriormente se transportan para su deposición en un vertedero controlado, su incineración o su compostaje. Por supuesto, si las plantas son incineradas, las cenizas, en las que se encuentran los metales que la planta había acumulado, se deben tratar como residuos tóxicos y peligrosos, y enviarse a vertederos controlados. En ocasiones, si su valor en el mercado así lo justifica, es factible recuperar los metales de las cenizas para posteriormente reutilizarlos (fitominería). (Salt, Smith y Raskin, 1998).

Las plantas con mayor potencial para la fitoextracción de metales son las especies metalofitas, plantas que gracias a diversos mecanismos fisiológicos sobreviven, muchas veces de forma endémica, en suelos que presentan niveles elevados de metales. Dentro de ellas, las plantas denominadas hiperacumuladoras son de gran interés pues presentan de forma natural una impresionante capacidad para tolerar, absorber y acumular elevadas concentraciones de metales en sus tejidos. Estas rarezas botánicas han de ser preservadas pues, además de su valor intrínseco como parte de una biodiversidad vegetal que ha desarrollado durante miles de años la capacidad para sobrevivir en suelos con altas concentraciones de metales, son una herramienta biológica valiosísima para la recuperación de suelos contaminados por actividades industriales y mineras. (Salt, Smith y Raskin, 1998).

Entre las plantas hiperacumuladoras de metales la especie *Thlaspi caerulescens* merece un lugar destacado por su portentosa capacidad para acumular grandes cantidades de zinc y cadmio en sus tejidos aéreos. De hecho, esta especie puede acumular de forma



simultánea más de un 3,0 y 0,1% (en peso seco) de zinc y cadmio, respectivamente, en su parte aérea. Desafortunadamente, muchas de las especies hiperacumuladoras de metales, como *Thlaspi caerulescens*, son de crecimiento lento, baja biomasa y presentan un sistema de raíces poco profundo, lo que implica que si el suelo está contaminado con altas concentraciones de metales, se necesitan muchos años para que esta fitotecnología reduzca la concentración de metales hasta niveles aceptables. (Salt, Smith y Raskin, 1998).

En estas situaciones, se suele optar por la fitoestabilización pues presenta un gran potencial para la revegetación y recuperación de emplazamientos contaminados con metales. La fitoestabilización se basa en la inmovilización de los metales, para así disminuir su biodisponibilidad (accesibilidad a los organismos vivos) y evitar su transporte a otros compartimentos ambientales, en las raíces de las plantas. De esta forma, los metales quedan localizados en el emplazamiento contaminado y, al haberse disminuido su biodisponibilidad, se minimiza mucho el impacto ambiental que estos contaminantes pueden causar en el ecosistema edáfico. (Salt, Smith y Raskin, 1998).

En relación con la fitorremediación, y al igual que sucede con cualquier otra tecnología de recuperación de suelos contaminados, es necesario enfatizar que el objetivo último de esta fitotecnología no debe ser solamente eliminar el contaminante o, en su defecto, reducir su concentración hasta límites marcados en la legislación, sino sobre todo recuperar la salud del suelo, entendida ésta como la capacidad de este recurso para realizar sus funciones (i.e., proveer sus servicios) de forma sostenible desde una doble perspectiva antropocéntrica-ecocéntrica. (Comisión de las Comunidades Europeas, 2006).

Por ello, es indispensable disponer de un sistema adecuado de indicadores fiables de la salud del suelo para así poder llevar a cabo una evaluación cuantitativa de la eficacia del proceso fitorremediador. A este respecto, recientemente, los indicadores biológicos o bioindicadores de la salud del suelo han surgido con fuerza debido a su sensibilidad, su carácter integrador, y su elevada velocidad de respuesta frente a cualquier perturbación o variable introducida en el ecosistema edáfico. Dentro de los indicadores biológicos de la salud del suelo, aquellos que reflejan la biomasa, actividad y biodiversidad de las comunidades microbianas del suelo, presentan un enorme potencial como herramienta monitorizadora de la eficacia de un proceso fitorremediador. Finalmente, a modo de conclusión, enfatizar que la fitorremediación presenta un enorme potencial como tecnología de recuperación de suelos contaminados respetuosa con el medio ambiente y con los procesos ecológicos que en él se desarrollan.

### **1.3. Formulación del Problema**

#### **1.3.1. Problema principal**

¿De qué manera la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la disminución de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017?

#### **1.3.2. Problemas secundarios**

**P.E.1:** ¿De qué manera la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la recuperación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017?

**P.E.2:** ¿De qué manera la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la imagen paisajística de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017?

**P.E.3:** ¿De qué manera la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017?

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

##### **1.4.1. Objetivo general**

Demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la disminución de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

**O.E.1:** Demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la recuperación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

**O.E.2:** Demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la imagen paisajística de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

**O.E.3:** Demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

## **1.5. Hipótesis de la Investigación**

### **1.5.1. Hipótesis principal**

La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la disminución de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

### **1.5.2. Hipótesis secundarias**

**H.E.1:** La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la recuperación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

**H.E.2:** La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la mejora de la imagen paisajística de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

**H.E.3:** La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la mejora de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

## **1.6. Variables e Indicadores**

### **1.6.1. Variable independiente**

Fitorremediación con la planta endémica kikuyo.

#### **A. Indicadores**

**IX1:** Disminución de color rojizo por la presencia del contaminante relaves mineros.

**IX2:** Presencia de plantas.

**IX3:** Ahorro en tratamiento de recuperación de suelos contaminados.

#### **B. Índices**

**IX1:** Valores por debajo de los estándares de calidad de metales pesados de (Hg, Pb, As, Cd entre otros).

**IX2:** Buena calidad de áreas verdes.

**IX3:** Menor gasto en tratamiento de suelo.

### **1.6.2. Variable dependiente**

Contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros.

#### **A. Indicadores**

**IY1:** Suelos de tonalidad color rojizo debido a los contaminantes de relaves mineros.

**IY2:** Falta de forestación paisajística.

**IY3:** Gastos por hectáreas

#### **B. Índice**

**IY1:** Valores por encima de los estándares de calidad de metales pesados (Hg, Pb, As, Cd entre otros).

**IY2:** Ausencia de plantas.

**IY3:** Alto presupuesto para utilizar métodos convencionales.

## **1.7. Viabilidad de la investigación**

### **1.7.1. Viabilidad técnica**

Se dispone de tratamientos similares (fitorremediación) al presente que han sido comprobados y que han generado resultados positivos sobre suelos contaminados.

### **1.7.2. Viabilidad operativa**

Se ha contado con personal técnico calificado y de un proceso de tratamiento validado para el desarrollo del estudio, asimismo, se

dispone de un área de terreno para ejecutar a nivel piloto la fitorremediación con la planta endémica kikuyo.

### **1.7.3. Viabilidad económica**

Se contó con recursos de instituciones afines al estudio ya que éstas serán las beneficiadas directa e indirectamente, por lo que se contó con el apoyo de la Municipalidad Distrital de Palpa, y otras instituciones como la Dirección Región de Agricultura y la Dirección Región de Minería.

## **1.8. Justificación e Importancia de la Investigación**

### **1.8.1. Justificación**

La fitorremediación es la descontaminación de los suelos, la depuración de las aguas residuales o la limpieza del aire interior, usando plantas vasculares, algas (ficorremediación) u hongos (micorremediación), y por extensión ecosistemas que contienen estas plantas. Así pues, se trata de eliminar o controlar las diversas contaminaciones. La degradación de compuestos dañinos se acelera mediante la actividad de algunos microorganismos.

La fitorremediación se basa principalmente en las interacciones entre las plantas, el suelo y los microorganismos. El suelo es una compleja estructura que sirve de soporte para el desarrollo de las plantas y los microorganismos que se alimentan de los compuestos orgánicos o inorgánicos que lo componen. Cuando algunos de estos compuestos se encuentra en exceso con respecto al estado inicial del suelo, éste se describe como un suelo contaminado (esto también se aplica al agua y al aire, a diferencia del suelo son fluidos). Los compuestos en exceso pueden ser utilizados como fuente de energía por las plantas y microorganismos. En el sistema planta - suelo - microorganismos, labiodegradación bacteriana es a menudo independiente de la absorción por medio de la raíz. Las plantas y los microorganismos han coevolucionado para

adoptar una estrategia de aprovechamiento recíproca, para soportar la fitotoxicidad, de la que los microorganismos aprovechan los exudados de la raíz y también la planta se beneficia de la capacidad de degradación de los microorganismos rizosféricos para reducir el estrés debido a la fitotoxicidad. En última instancia, la planta es el agente esencial de la exportación de un contaminante fuera de su entorno.

La biorremediación es una práctica que está tomando importancia a nivel mundial dado que el aumento de la actividad industrial está degradando cada vez más los ecosistemas naturales. Durante los últimos años se han desarrollado tecnologías que permiten remediar la contaminación del ambiente a través del uso de plantas y sus organismos relacionados. La fitorremediación es, por tanto, una de las técnicas más promisorias para remediar suelos contaminados con metales pesados, sin embargo, es aún, una tecnología incipiente, siendo el mayor problema la falta de antecedentes y resultados, debido a la larga duración de este tipo de proyectos, que son dependientes del crecimiento de las plantas, la actividad biológica y las condiciones climáticas. Sin embargo, es necesario seguir investigando sobre el potencial de fitoestabilización y fitoextracción de cada especie nativa, es por ello la necesidad de estudiar los factores de bioconcentración y traslocación, para hacer un uso más eficiente de sus beneficios y los proyectos pilotos de investigación que se realicen, generarán resultados en los próximos años, que contribuirán con estos estudios.

### **1.8.2. Importancia**

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. La fitorremediación utiliza las

plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes. (Kelley, C., Gaither, K. K., Baca-Spry, A., Cruickshank, B. J., 2000; Miretzky, P., Saralegui, A., Fernández-Cirelli, A., 2004; Cherian y Oliveira, 2005; Eapen, S., Singh, S., D'Souza, S. F., 2007; Cho, C., YavuzCorapcioglu, M., Park, S., Sung, K., 2008).

La tolerancia hacia los metales pesados está representada por la habilidad de sobrevivir en un suelo que es tóxico a otras plantas, y se manifiesta mediante una interacción entre el genotipo y su ambiente (Macnair, M., 2002), lo cual determina su sobrevivencia (Kuiper, 1984). Los mecanismos de tolerancia son en gran parte internos: los metales son absorbidos por plantas crecidas en sustrato metalífero, presentando una serie de adaptaciones fisiológicas y bioquímicas desarrolladas en varios grados para diferentes metales en diferentes especies y poblaciones (Baker, 1987).

Esta tolerancia deriva del desarrollo de diferentes estrategias basadas en mecanismos que les permiten (hiper)acumular metales en formas no tóxicas o, por el contrario, excluirlos fuera de sus tejidos (Baker, 1981). La revegetación de áreas degradadas con este tipo de especies ayuda a estabilizar el suelo y a recuperar los ciclos en la capa superficial, y es el primer paso en la descontaminación o fitocorrección. La identificación de nuevas especies pioneras de rápido crecimiento capaces de crecer en suelos pobres contaminados, tales como aquellos originados sobre los residuos mineros, y el estudio de su comportamiento frente a los metales, continúa siendo, por tanto, de gran importancia en el desarrollo de la fitocorrección (Alvarez, 2003). Un sistema eficiente de fitorremediación requiere especies de plantas que satisfagan 2 prerrequisitos: tolerancia a metales y capacidad de acumulación (absorción, detoxificación y secuestro). Además la planta ideal



debería poseer la habilidad de sobrevivir a más de un metal en el medio de crecimiento (Saxena, 1999).

Muchas especies toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo porque restringen su absorción y/o translocación hacia las hojas (estrategia de exclusión); sin embargo, otras los absorben y acumulan activamente en su biomasa aérea (estrategia acumuladora), lo que requiere una fisiología altamente especializada (Baker y Walker, 1990). Se han reconocido diferentes grados de acumulación metálica, desde pequeñas elevaciones sobre el nivel de fondo hasta respuestas extremas, en las que el metal llega a exceder el 1% de la materia seca de la planta. (Saxena, 1999).

Brooks, Lee, Reeves y Jaffré (1977) fueron los primeros en utilizar el término “planta hiperacumuladora” para referirse a plantas capaces de acumular  $>1000$  Ni mg/kg de materia seca. El término se redefinió posteriormente para designar plantas que acumulaban  $>10000$  mg/kg de Mn y Zn,  $>1000$  mg/kg de Co, Cu, Ni y Pb y  $>100$  mg/kg de Cd (Baker, McGrath, Reeves y Smith, 2000). Básicamente, la capacidad fitoextractora de una planta depende de su capacidad de absorber, translocar y secuestrar el metal de interés en su parte aérea cosechable, así como de la cantidad de biomasa producida. Dado que las plantas hiperacumuladoras son relativamente raras y muchas de ellas producen una escasa biomasa y poseen una baja tasa de crecimiento, su uso efectivo en los procesos de fitoextracción es limitado. Adicionalmente, se podrían utilizar plantas tolerantes no hiperacumuladoras en combinación con enmiendas del suelo con el objetivo de rebajar la biodisponibilidad y exposición de los metales (fitoestabilización). A pesar de la gran dedicación al tema, todavía son pocas las plantas estudiadas para su uso en fitocorrección, y siguen siendo necesarios nuevos estudios geobotánicos y búsquedas adicionales de especies con valor potencial en este tipo

de técnicas de fitocorrección. Las plantas poseen 3 estrategias básicas para crecer sobre suelos contaminados (Raskin, 1994). La primera se presenta en plantas excluidoras de metales, las cuales previenen la entrada de metales o mantienen baja y constante la concentración de estos sobre un amplio rango de concentración de metales en el suelo, principalmente restringiendo la acumulación de los metales en las raíces. La segunda se encuentra en las plantas denominadas indicadoras de metales, que acumulan los mismos en sus tejidos aéreos y generalmente reflejan el nivel de metal en el suelo (Ghosh y Singh, 2005). Finalmente, la tercera estrategia es la de las plantas acumuladoras, las cuales pueden concentrar metales en sus partes aéreas, en niveles que exceden varias veces el nivel presente en el suelo (Baker, 2006).

La importancia que viabiliza esta investigación es la de sus resultados in situ o ex situ, ya que las conclusiones y la experimentación que se realizará en estos suelos con estas especies forestales de la zona podrán ayudar a otras investigaciones o su aplicación a comunidades en el cual están inmersos estos problemas de relaves mineros como Saramarca de Palpa.

### **1.9. Limitaciones de la Investigación**

Las limitaciones presentadas en el estudio han sido fundamentalmente limitaciones en el aspecto económico, tiempo y bibliográfico. En el aspecto económico, existió la limitante de la zona escogida, ya que para desarrollar el estudio se realizaron varios viajes a la ciudad de Palpa y en particular al poblado de Saramarca, lugar en donde se hizo la recolección de las muestras y la valoración de la especie forestal escogida (kikuyo) para la fitorremediación. En el aspecto tiempo, existió la limitante de la poca disponibilidad de tiempo, toda vez que el investigador es estudiante y trabajador al mismo tiempo lo que dificulta contar con la disposición tiempo que exige el estudio. En cuanto al aspecto bibliográfico,

existió la limitante de no hay mucha información sobre este tratamiento (fitorremediación) con la planta kikuyo, por lo que se ha tomado como referencia muy cercana las investigaciones sobre el tema en cuestión realizadas en Chile, Ecuador, y México.

## **1.10. Tipo y Nivel de la Investigación**

### **1.10.1. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo aplicada, cuya característica ha estado marcada por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos, como el estudio en particular (aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo). Por lo que el presente estudio ha buscado conocer para hacer, actuar, construir, modificar o producir cambios importantes sobre la realidad problema que se ha investigado. Por tanto, su utilidad ha sido práctico-científica. (Carrasco, 2006)

### **1.10.2. Nivel de investigación**

La presente investigación se enmarca en el nivel explicativo porque su objetivo ha sido la explicación de las variables de estudio (fitorremediación con la planta endémica kikuyo y contaminación de los suelos afectos por los relaves mineros) y el análisis de sus relaciones de causalidad para conocer su estructura y los aspectos que intervienen en la dinámica de los mismos. (Carrasco, 2006)

## **1.11. Método y Diseño de la Investigación**

### **1.11.1. Método de la investigación**

Se ha utilizado el método cuantitativo, el cual tiene los siguientes pasos: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia. Este

método obliga al científico a combinar la reflexión racional o momento racional (la formación de hipótesis y la deducción) con la observación de la realidad o momento empírico (la observación y la verificación).

### 1.11.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es el conjunto de estrategias procedimentales y metodológicas definidas y elaboradas previamente para desarrollar el proceso de investigación. (Carrasco, 2006). Para el caso en particular, el diseño seleccionado de acuerdo con la naturaleza del estudio, es el diseño pre-experimental; cuya representación esquemática es la siguiente:

<b>G.E.:</b> O <sub>1</sub> X O <sub>2</sub>
--

En donde:

G.E. = Grupo experimental.

X = Estimulo experimental (fitorremediación con la planta endémica kikuyo).

O<sub>1</sub> = Pretest del grupo experimental (contaminación de los suelos afectos por los relaves mineros antes del estímulo experimental).

O<sub>2</sub> = Postest del grupo experimental (contaminación de los suelos afectos por los relaves mineros después del estímulo experimental).

## 1.12. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

### 1.12.1. Técnicas

#### A. Análisis de laboratorio

Según Ramírez (2016) esta técnica consiste en obtener resultados calibrados de las unidades de análisis del estudio de investigación mediante el análisis con pruebas autoanalizadoras o con procedimientos manuales aceptados. Esta técnica ha

permitido conocer en dos momentos el nivel de contaminación de los suelos como productos de su exposición a los relaves mineros.

## **B. Observación**

Según Carrasco (2006) la observación representa una de las técnicas más valiosas en investigación y consiste en la obtención, recopilación y registro de datos empíricos de un suceso, objeto o conducta humana. Para el caso en particular, esta técnica ha permitido conocer la recuperación paisajística en la zona de Saramarca.

## **C. Fichaje**

Según Carrasco (2006) esta técnica consiste en registrar o consignar información significativa y de interés para el estudio en fichas de investigación. Esta técnica ha permitido recoger información pertinente sobre las variables de estudio y estructurar el marco teórico de la investigación, así como el marco conceptual de la presente investigación.

### **1.12.2. Instrumentos**

#### **A. Muestras de suelos**

Se removió con un barrilete en zonas libres, materiales sueltos y la capa superficial hasta 0-10 cm. ó 0-20 cm. de profundidad. Se tomaron muestras representativas las que fueron depositadas en envases adecuados para su conservación y posterior análisis en el laboratorio.

#### **B. Fichas de observación**

Se emplearon dos fichas de observación, la primera de ellas estuvo dirigida a medir la imagen paisajística de los suelos afectos por los relaves mineros de la población de Saramarca,

mientras que la segunda estuvo dirigida a medir la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca.

### **C. Fichas de investigación**

Las fichas de investigación que se han empleado en el presente estudio, son de tipo: bibliográficas, hemerográficas, textuales, de resumen, de experiencia y mixtas.

## **1.13. Cobertura de Estudio**

### **1.13.1. Universo**

Tal como señala Vara (2012) la población llamada universo, comprende la gran diversidad de unidades que forman las necesidades, no solamente puede referirse a personas sino también a cosas o hechos de interés social.

Al respecto, el universo del presente trabajo de investigación se realizó en Saramarca conformado por 8 minerías artesanales que extraen minerales de las partes altas de dicho lugar ya que son los causantes de la degradación del suelo, así mismo por los pasivos ambientales que ocasiona los relaves en dicho lugar, ya que esta zona al ser un centro de acopio de minerales es usado por la población en la extracción de minerales como el oro.

### **1.13.2. Muestra**

Según Vara (2012) la muestra “es el conjunto o una parte de casos extraídos de la población, seleccionado por algún método racional, siempre parte de la población, que se somete a observación científica en representación del conjunto con el propósito de obtener resultados validos” (p. 223).

Al respecto, en el presente estudio se tomaron muestras de suelos de la planta de Saramarca A-1 del propietario German Ore Parra, que es el área geográfica donde se hizo la investigación con la planta endémica kikuyo, considerada como muestra. En este caso se tomó el tipo de muestra de identificación en cinco puntos distintos del terreno. Asimismo cabe mencionar que al muestreo del suelo se hizo previamente el reconocimiento del sitio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

A nivel internacional tenemos los siguientes estudios:

Palta, G. y Morales, S. (2012) en su tesis denominada “Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: brachiaria mutica, pennisetum purpureum y panicum maximun en el municipio de Popayán, Cauca”. La presente tesis tiene como objetivo principal evaluar diferentes especies de gramíneas, buscando una alternativa de manejo de las aguas residuales domésticas con plantas útiles en la alimentación animal. Los investigadores en su estudio concluyen: Se encontró que los pastos utilizados en los tratamientos son un medio para el reducir la carga orgánica de las aguas residuales domésticas, proporcionando de esta manera humedales multipropósitos para el manejo del agua residual doméstica y la alimentación animal. Se determinó que las variaciones que se presentaron entre los tratamientos, demuestran que la mayor efectividad se registró con *Brachiaria mutica* y *Penisetum purpureum*. Se recomienda establecer estrategias de sedimentación primaria, al igual que realizar cortes periódicos a los pastos, para evaluar el movimiento de nitrógeno hacia el forraje y evaluar la producción en materia seca del mismo.

Toledo, K. (2012) en su tesis denominada “Aplicación de procesos biológicos como medida remediación para recuperar suelos limo-arcillosos contaminados con gasolina”, realizada en Guayaquil, Ecuador. La presente tesis tiene como objetivo principal fomentar el estudio y la aplicación de las técnicas de biorremediación de suelos; las mismas que son logística y



económicamente más convenientes en el momento de diseñar y de llevar a cabo los proyectos de remediación. En su primera parte se revisan y definen los fundamentos teóricos de los procesos de remediación, para su posterior aplicación en el campo en un medio controlado pudiendo observar de manera clara los cambios durante todo el proceso. La investigadora en su estudio concluye: Se comprobó que la fitorremediación como tratamiento complementario es efectivo siempre y cuando se dé un acondicionamiento nutritivo al suelo antes y durante la aplicación de dicho tratamiento y es conveniente su aplicación debido a que no presentan residuos sólidos, ni líquidos y las plantas sembradas ayudaron al crecimiento de especies nativas del lugar. Se determinó que el agua es un factor importante en el proceso de remediación puesto que los microorganismos toman los nutrientes de la fase líquida. El aumento de agua que se produjo por las grandes precipitaciones provocó una inhibición del flujo de aire, reduciendo así el suministro de oxígeno dando como consecuencia la muerte de los microorganismos. Se pudo comprobar que el método de Biorremediación por depender de microorganismos, los cuales son sensibles a varios factores externos se puede hacer una extrapolación entre los ensayos de laboratorio y las situaciones en el campo. Se determinó que los parámetros de TPH y COV presentaron una disminución considerable luego de comenzar el proceso de fitorremediación demostrando que con la adición de nutrientes y la adecuada oxigenación el proceso se realiza con una mayor efectividad y mucho más rápido. Se determinó que la aportación del agua al suelo, disminuye la temperatura del mismo de manera significativa, disminuyendo el gradiente térmico, producto de las reacciones químicas de los procesos de descomposición y remediación que sufre el suelo. De esta manera el mismo se regula y permite su regeneración. Se determinó que los compuestos orgánicos volátiles tienen la mayor disminución en este proceso el segundo mes. Su decrecimiento progresó en el tercero, atenuándose levemente. Demostrando la contaminación disminuyó a límites donde fue posible el crecimiento de microflora. Se puede deducir, basados en los parámetros de TPH que las plantas asimilaron el

contaminante, de esta manera se justifica el deterioro de las plantas en las primeras semanas.

Sierra, R (2010) en su tesis denominada "Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial", realizada en Coahuila, México. La presente tesis tiene como objetivo principal determinar la capacidad del Rye grass en la fitorremediación de un suelo contaminado con plomo, por actividad industrial. En su primera parte se analizan los metales pesados en el suelo y en su segunda parte se establecen los fundamentos teóricos de los procesos de la fitorremediación y fitoextracción. El investigador en su estudio concluye: Se encontró que el suelo de la zona puede ser considerado como un suelo con severa polución; además de la alta concentración de Pb, presenta otros problemas como una CE y un PSI muy elevados. Se demostró que el pasto Rye Grass sirve para extraer plomo de un suelo salino-sódico contaminado a altas concentraciones por este metal. Se determinó que el Pb, la CE, y el PSI, bajo las condiciones experimentales descritas, afectaron considerablemente el desarrollo de la planta registrándose el efecto significativamente en el desarrollo de la planta, sin embargo, a pesar de esto se obtuvo una absorción considerable de plomo. Se encontró que el contenido de plomo en el suelo disminuyó debido a la absorción, lixiviación y dilución, pero los resultados finales no entran en los límites máximos permisibles para suelos contaminados con plomo por actividad industrial de acuerdo a PROY-NOM-147 SEMARNAT/SSA1-2004.

A nivel nacional tenemos los siguientes estudios:

Chávez, L. (2014) en su tesis denominada "Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo", realizada en Lima. La presente tesis tiene como objetivo principal determinar la capacidad fitorremediadora de especies de flora nativa encontradas en zonas de contaminación por plomo, esto debido a que su uso sería el más adecuado por haber desarrollado mecanismos de tolerancia al metal. En su primera

parte se define la contaminación de los suelos por plomo y en su segunda parte se establecen los factores que influyen en la fitorremediación de suelos. La investigadora en su estudio concluye: Se encontró que las especies nativas *Calamagrostis* y *Nicotiana* son acumuladoras de plomo; en su hábitat natural demuestran comportamiento de hiperacumulación de plomo. Se encontró que las especies vegetales nativas con potencial fitorremediador encontradas en campo pertenecen a los géneros *Calamagrostis*, *Nicotiana*, *Glandularia*, *Muhlenbergia*, *Desmodium*, de las que se seleccionaron las dos primeras. De las plantas en estudio, se encontró que la *Nicotiana* fue la que más plomo acumuló en la biomasa aérea (96.5 ppm). Así mismo extrajo la mayor cantidad de plomo (0.3 mg) y obtuvo un factor de translocación de plomo de 0.39. Por su parte el *Calamagrostis* fue la que acumuló más metal pesado en la zona radicular (299.8 ppm) y presentó un factor de translocación de 0.31. Así mismo fue la que menos biomasa aérea desarrolló durante el experimento (0.3 gr). Por último, no se observó influencia de los tratamientos con plomo en el crecimiento (altura) ni en las características visuales (apariencia, color, turgencia) de las especies en estudio.

Buendía, H. (2012) en su tesis denominada “Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles”, realizada en Lima. La presente tesis tiene como objetivo principal determinar la recuperación de un suelo contaminado con hidrocarburos, usando aserrín y estiércol, empleando como planta indicadora al “maíz” *Zea mays* L. de la variedad Marginal. T-28. En su primera parte se define la biorremediación de hidrocarburos y en su segunda parte se establecen los beneficios del estiércol y el aserrín en el proceso de biorremediación. El investigador en su estudio concluye: Se determinó que el tratamiento de mayor reducción en la concentración de los hidrocarburos totales de petróleo, ha sido: Suelo dosificado con vacaza más aserrín de bolaina (T3). Puesto que de 21.81 gr de TPH/kg de suelo se redujo a una concentración de 16.28 gr de TPH/kg de suelo, que

representa una reducción del 25 por ciento. Se encontró que los suelos contaminados con hidrocarburos, tratados con aserrín y estiércoles orgánicos en promedio disminuyeron 22.5 por ciento del contenido de hidrocarburos en el suelo. Empleando solo estiércol disminuyó solo 16.5 por ciento y usando solamente aserrines disminuyó 9.6 por ciento. Se encontró que los suelos contaminados tratados con estiércol orgánico más aserrines, utilizados como sustratos para la planta del maíz, tuvieron en promedio 36.80 cm de altura de planta, en comparación a los tratamientos de suelos contaminados usando solamente estiércol un promedio de 24.48 cm y utilizando solamente aserrín un promedio de 22.14 cm. Se encontró que los suelos contaminados tratados con estiércol orgánico, más aserrines, utilizados como sustratos para la planta del maíz, tuvieron en promedio 6.42 gr de peso seco foliar, en comparación a los tratamientos de suelos contaminados usando solamente estiércol un promedio de 5.68 gr y utilizando solamente aserrín un promedio de 4.79 gr. Se encontró que los suelos contaminados tratados con estiércol orgánico, más aserrines, utilizados como sustratos para la planta del maíz, tuvieron en promedio 4.50 gr de peso seco radicular, en comparación a los tratamientos de suelos contaminados usando solamente estiércol un promedio de 3.39 gr y utilizando solamente aserrín un promedio de 4.06 gr. Se determinó que la planta de maíz es un buen indicador para evaluar la reducción de la concentración de hidrocarburos en los suelos contaminados a través de sus variables la altura de la planta, peso seco foliar y peso seco radicular.

López, P. (2011) en su tesis denominada "Fitorremediación en los suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí - Lima", realizada en Lima. La presente tesis tiene como objetivo principal determinar los niveles de exposición al arsénico en cuerpos receptores de Mayoc y evaluar la presencia de arsénico en los habitantes de Mayoc. En su primera parte se explica el ciclo biogeoquímico del arsénico y en su segunda parte trata sobre la fitorremediación en suelos de Mayoc contaminados con arsénico. El investigador en su estudio concluye: Se encontró que los contenidos de

arsénico, cobre y zinc en aguas en las tres estaciones de control, durante las etapas previa, durante y posterior al traslado de relaves, se mantuvieron por debajo de los LMP establecidos en las Clases II y III de la Ley General de Aguas. Al evaluar la presencia de arsénico en los habitantes de Mayoc a través de informes científicos detallados, se determina que en el estudio publicado en el año 2005, de 8 casos estudiados, 5 superan el Límite Máximo de Seguridad de depuración de arsénico normado por la OMS (50 µg/L en 24 horas). Además las lesiones causadas por el arsenicismo pueden ser exacerbadas por la radiación solar y viceversa. Se encontró que del grupo de plantas que se regaron con solución de As (III), el eucalipto supera en más de 17 y 5 veces, en hojas y tallos, respectivamente, el contenido inicial del metaloide, en mg/L; absorbiendo sólo 14,3 mg AsIII / kg de hojas y tallo de la planta. El eucalipto es la única especie de la primera etapa, que en sus dos muestras, presenta resultados cercanos en todos los parámetros analizados, como el contenido de As (III) en hojas y tallos secos, y los parámetros analizados en las muestras de suelo. El Kikuyo obtiene el valor más grande de As (III) absorbido (LI2 en hojas y total, en la primera etapa). Esta muestra corresponde al suelo con valores de humedad y MO elevados. La información desfavorable es que no hay repetibilidad en este comportamiento en las demás muestras de kikuyo. El kikuyo y diente de león absorben sobre los 60 mg As (V) / kg de hojas secas, superando casi 44 y 22 veces, respectivamente, el contenido inicial del metaloide en la planta.

## **2.2. Marco Histórico**

En los ecosistemas andinos situados por encima de los 3300 m de altitud se forman las cabeceras de las cuencas de las Vertientes Occidental y Oriental de los Andes, aquí podemos encontrar praderas de pastizales, parches de bosques, matorrales y bofedales (Young, León y Cano, 1997), muchos de ellos amenazados por la minería y actividades asociadas. Las actividades mineras depositan sus residuos con metales pesados en la superficie del entorno minero causando la contaminación del suelo, y

representando un problema ambiental de gran preocupación mundial (Alkorta, 2010).

En general, los suelos originales de las minas se degradan o se pierden irreversiblemente, generando nuevos suelos modificados formados por materiales poco aptos para el desarrollo de procesos biológicos (Becerril, 2007). Las consecuencias directas de esta contaminación del suelo son la desaparición de la vegetación, pérdida de su productividad y disminución de la biodiversidad; indirectamente se menciona la contaminación del aire, y aguas superficiales y subterráneas (Wong, 2003).

Sin embargo, existen las denominadas plantas metalófitas, que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos degradados por actividades mineras (Becerril, 2007). Estas especies pueden restringir la absorción los metales o translocarlos hacia las hojas o absorberlo y acumularlo activamente en su biomasa aérea (Baker y Proctor 1990). Algunas plantas modifican las condiciones de la rizósfera produciendo exudados radiculares o la alterando el pH (Adriano, 2001). Los grados de acumulación metálica van desde trazas hasta más del 1% de la materia seca de la planta (Diez, 2008).

Actualmente para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados se tienen varias tecnologías (Diez 2008), estas generalmente recurren al uso de plantas metalófitas que pueden utilizarse en los procesos de fitorrestauración y fitorremediación para recuperar sedimentos y aguas contaminadas por metales pesados, eliminando los contaminantes del ambiente o haciéndolos inocuos (Salt, 1998).

Por otro lado, están siendo investigadas las denominadas plantas hiperacumuladoras, aquellas capaces de acumular más de 1000 mg de Níquel por kilogramo de materia seca, o más de 10000 mg kg<sup>-1</sup> de Mn y Zn, más de 1000 mg kg<sup>-1</sup> de Co, Cu, Ni y Pb y más de 100 mg kg<sup>-1</sup> de Cd

(Brooks, 1977, Baker, 2000), que podrían usarse en las diferentes técnicas de fitorremediación

El presente trabajo informa los resultados de un experimento que evalúa la capacidad de fitorremediación de cinco plantas andinas: *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuente simalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, en suelos contaminados con plomo, zinc y cadmio. (Baker, 2000)

## **2.3. Marco Teórico**

### **2.3.1. Fitorremediación**

La fitorremediación es una de las ramas de la biorremediación que utiliza plantas y microorganismos asociados a la raíz para remover, transformar o acumular sustancias contaminantes localizadas en suelos, sedimentos, acuíferos, cuerpos de agua e incluso en la atmósfera. Utilizando esta tecnología podemos eliminar contaminantes orgánicos, inorgánicos y metales pesados. Actualmente se cuenta con paquetes tecnológicos de fitorremediación de suelos y cuerpos de agua, generados con tecnología nacional, que incluyen variedades vegetales con altas capacidades de resistencia y acumulación de metales pesados. (Basta, 2004).

La fitorremediación es la descontaminación de los suelos, la depuración de las aguas residuales o la limpieza del aire interior, usando plantas vasculares, algas (fitorremediación) u hongos (micorremediación), y por extensión ecosistemas que contienen estas plantas. Así pues, se trata de eliminar o controlar las diversas contaminaciones. La degradación de compuestos dañinos se acelera mediante la actividad de algunos microorganismos. (Basta, 2004). La etimología proviene del griego «phyton» = planta y del latín «remedium» = restablecer el equilibrio, la remediación. La fitorremediación no es un concepto nuevo, pues desde hace 3000

años los hombres han utilizado la capacidad natural de purificación de las plantas para el tratamiento del agua. Desde la década de 1970 esta práctica ha encontrado un renovado interés, en particular para el tratamiento de los plaguicidas y de los metales.

- **Las aguas residuales:** La fitorremediación también se utiliza para la descontaminación de las aguas cargadas de materia orgánica o contaminantes diversos (metales, hidrocarburos y plaguicidas).
- **El aire:** También se puede limpiar el aire de zonas cerradas a través de plantas que lo descontaminan (basado en la investigación Proyecto de Ley Wolverton para la NASA en los años 1980-90). Esta investigación se ha desarrollado significativamente en los últimos años.
- **Suelo:** Esta técnica se utiliza para descontaminación biológicamente las tierras contaminada por metales y metaloides, plaguicidas, disolventes, explosivos etc.

#### **2.3.1.1. Principio de la fitorremediación**

La fitorremediación se basa principalmente en las interacciones entre las plantas, el suelo y los microorganismos. El suelo es una compleja estructura que sirve de soporte para el desarrollo de las plantas y los microorganismos que se alimentan de los compuestos orgánicos o inorgánicos que lo componen. Cuando algunos de estos compuestos se encuentra en exceso con respecto al estado inicial del suelo, éste se describe como un suelo contaminado (esto también se aplica al agua y al aire, a diferencia del suelo son fluidos). Los compuestos en exceso pueden ser utilizados como fuente de energía por las plantas y microorganismos. En el sistema planta - suelo - microorganismos, la biodegradación bacteriana es a menudo independiente de



la absorción por medio de la raíz. Las plantas y los microorganismos han coevolucionado para adoptar una estrategia de aprovechamiento recíproca, para soportar la fitotoxicidad, de la que los microorganismos aprovechan los exudados de la raíz y también la planta se beneficia de la capacidad de degradación de los microorganismos rizosféricos para reducir el estrés debido a la fitotoxicidad. En última instancia, la planta es el agente esencial de la exportación de un contaminante fuera de su entorno. Basta, 2004).

### **2.3.1.2. Factores que afectan la disponibilidad de los metales pesados**

Los factores que afectan la concentración de los metales en la solución suelo afectan su disponibilidad, por lo tanto, ésta depende de la naturaleza del metal, de la interacción con los coloides del suelo, de las propiedades del suelo y del tiempo de contacto del suelo con el metal (Naidu *et al.*, 2003). Los principales factores del suelo que controlan la solubilidad y potencial disponibilidad de los metales en el suelo son pH, potencial redox, textura, contenido y tipo de arcilla, materia orgánica, óxidos de Fe, Mn y Al, y la presencia de cationes y aniones en solución (Rieuwertts *et al.*, 1998; Reichman, 2002; Silveira, 2003; Basta, 2004).

- **pH.** El pH del suelo, es considerado uno de los principales factores que afecta la disponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre la especiación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo (McBride *et al.*, 1997; Kabata-Pendias, 2000; Reichman, 2002). Además, afecta el ingreso del metal a las raíces de las plantas (Rieuwertts *et al.*, 1998). Con excepción del Mo, Se y As, la biodisponibilidad de los metales pesados disminuye con el aumento del pH del suelo debido a su precipitación como hidróxidos insolubles, carbonatos y complejos

orgánicos (Basta y Tabatabai, 1992; Alloway, 1995; Silveira *et al.*, 2003). En suelos ácidos, se produce una competencia de los iones de  $H^+$  con los cationes metálicos por los sitios de intercambio, produciéndose desorción de los metales pesados, aumentando su concentración en la solución suelo y su biodisponibilidad (Alloway, 1995).

- **Contenido de materia orgánica.** La materia orgánica del suelo tiene gran cantidad de grupos funcionales ( $COO^-$ ,  $OH$ ,  $C=C$ ,  $COOH$ ,  $SH$ ,  $COOH$ ) que adsorben los iones metálicos debido a su alta afinidad, formando complejos estables con ellos (González, 1993,1995; Yin *et al.*, 1996; Kabata-Pendias y Pendias, 2000; Reichman, 2002). En general, las plantas no absorben complejos metálicos grandes por lo que su biodisponibilidad disminuye, sin embargo, pueden existir compuestos orgánicos solubles asociados a los metales pesados (Alloway, 1995).
- **Contenido y tipo de arcilla.** La mayor parte de las arcillas se caracterizan por tener cargas eléctricas, principalmente negativas, en su superficie que son responsables de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, constituyendo un freno al movimiento de los cationes metálicos en la solución del suelo.
- **Potencial redox.** La condición redox afecta el tipo de especies de metales en la solución suelo alterando su solubilidad (Patrick y Jugsujinda, 1992; Kabata-Pendias, 2000). En los suelos compactados e inundados, que tienen poca aireación, se ven favorecidas las condiciones de reducción, incrementando la biodisponibilidad de algunos metales como Mn, Cd, Cu, Cr y Zn y aumentando su toxicidad (Kabata-Pendias, 2000; Reichman, 2002).

- **Otros factores.** Hay otros factores que afectan la solubilidad de los metales en el suelo y su biodisponibilidad para las plantas. La actividad de las raíces afecta la biodisponibilidad al bajar el pH de la rizósfera. Al exudar ácidos orgánicos se solubilizan los metales y su absorción por las plantas aumenta (Krishnamurti *et al.*, 1997, Esteban, *et al.*, 2003). Los exudados orgánicos de las raíces también pueden actuar como agentes complejantes de los metales y pueden movilizar los metales adsorbidos a la solución suelo (Krishnamurti *et al.*, 1997).

### 2.3.1.3. Características de los metales investigados

Estas son:

**Características del mercurio.-** Elemento químico, símbolo Hg, número atómico 80 y peso atómico 200.59. es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente (punto de fusión  $-38.4^{\circ}\text{C}$  o  $-37.46^{\circ}\text{F}$ ); ebulle a  $357^{\circ}\text{C}$  ( $675.05^{\circ}\text{F}$ ) a presión atmosférica. Es un metal noble, soluble únicamente en soluciones oxidantes. El mercurio sólido es tan suave como el plomo. El metal y sus compuestos son muy tóxicos. El mercurio forma soluciones llamadas amalgamas con algunos metales (por ejemplo, oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio. (Romero, 2000).

En cuanto a los efectos del mercurio en la salud; el Mercurio no es encontrado de forma natural en los alimentos, pero este puede aparecer en la comida así como ser expandido en las cadenas alimentarias por pequeños organismos que son consumidos por los humanos, por ejemplo a través de los peces. Las concentraciones de Mercurio en los peces usualmente exceden en gran medida las concentraciones en el agua donde viven. Los productos de la cría de ganado pueden también contener eminentes cantidades de Mercurio. El Mercurio no es comúnmente encontrado en plantas, pero este puede entrar en los cuerpos

humanos a través de vegetales y otros cultivos. Cuando sprays que contienen Mercurio son aplicados en la agricultura. El Mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos, que pueden ser todos simplificados en las siguientes principalmente: 1) daño al sistema nervioso; 2) daño a las funciones del cerebro; 3) daño al ADN y cromosomas; 4) reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza; 5) efectos negativos en la reproducción, daño en el esperma, defectos de nacimientos y abortos. El daño a las funciones del cerebro puede causar la degradación de la habilidad para aprender, cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, incoordinación de músculos y pérdida de la memoria. Daño en el cromosoma y es conocido que causa mongolismo. En cuanto a los efectos ambientales del mercurio; el mercurio entra en el ambiente como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos a través de la exposición al viento y agua. La liberación de Mercurio desde fuentes naturales ha permanecido en el mismo nivel a través de los años. Todavía las concentraciones de Mercurio en el medioambiente están creciendo; esto es debido a la actividad humana. La mayoría del Mercurio liberado por las actividades humanas es liberado al aire, a través de la quema de productos fósiles, minería, fundiciones y combustión de residuos sólidos. Algunas formas de actividades humanas liberan Mercurio directamente al suelo o al agua, por ejemplo la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de aguas residuales industriales. Todo el Mercurio que es liberado al ambiente eventualmente terminará en suelos o aguas superficiales

**Características del Plomo.-** Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos. Sin embargo, en la actualidad el envenenamiento por plomo es raro en

virtud de la aplicación industrial de controles modernos, tanto de higiene como relacionados con la ingeniería. El mayor peligro proviene de la inhalación de vapor o de polvo. En el caso de los compuestos organoplúmbicos, la absorción a través de la piel puede llegar a ser significativa. (Romero, 2000).

En cuanto a los efectos del plomo sobre la salud; el plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable. Que nosotros sepamos, el Plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua. El Plomo puede causar varios efectos no deseados, como son: 1) perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia; 2) Incremento de la presión sanguínea; 3) daño a los riñones; 4) abortos y abortos sutiles, 5) perturbación del sistema nervioso; 6) daño al cerebro; 7) disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma; 8) disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños; 9) perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad. El Plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer. (Romero, 2000).

En cuanto a los efectos ambientales del plomo; el plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas

concentraciones de plomo presente. Las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbados cuando interfiere con el plomo. El fitoplancton es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos grandes animales marinos lo comen. Este es por qué nosotros ahora empezamos a preguntarnos si la contaminación por plomo puede influir en los balances globales. Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del Plomo, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde concentraciones extremas pueden estar presente. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento por plomo. (Romero, 2000).

**Características del Ascencio.-** El arsénico elemental tiene pocos usos. Es uno de los pocos minerales disponibles con un 99.9999+ % de pureza. En el estado sólido se ha empleado ampliamente en los materiales láser GaAs y como agente acelerador en la manufactura de varios aparatos. El óxido de arsénico se utiliza en la elaboración de vidrio. Los sulfuros de arsénico se usan como pigmentos y en juegos pirotécnicos. El arseniato de hidrógeno se emplea en medicina, así como otros compuestos de arsénico. La mayor parte de la aplicación medicinal de los compuestos de arsénico se basa en su naturaleza tóxica. (Romero, 2000).

En cuanto a los efectos del arsénico sobre la salud; la exposición al Arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con Arsénico, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera y gente que viven en granjas donde el Arsénico de los pesticidas ha sido aplicados en el pasado. La exposición al Arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la

producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de Arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa. (Romero, 2000).

En cuanto a los efectos ambientales del arsénico; el Arsénico es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos solubles en agua o volátiles. En realidad el Arsénico es naturalmente específicamente un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico. Esto es una buena cosa, pero el punto negativo es que la contaminación por Arsénico llega a ser un tema amplio debido al fácil esparcimiento de este. El Arsénico no se puede movilizar fácilmente cuando este es inmóvil. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y las fundiciones, naturalmente el Arsénico inmóvil se ha movilitado también y puede ahora ser encontrado en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural. (Romero, 2000).

**Características del cadmio.-** El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza, y la greenockita (sulfuro de cadmio), único mineral de cadmio, no es una fuente comercial de metal. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales de zinc, los cuales por lo general contienen de 0.2 a 0.4%. Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Bélgica, Luxemburgo y República de Corea son fuentes importantes, aunque no todos son productores. (Romero, 2000).

En cuanto a los efectos del cadmio sobre la salud; el Cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre.

Este siempre ocurre en combinación con el Zinc. El Cadmio también consiste en las industrias como inevitable subproducto del Zinc, plomo y cobre extracciones. Después de ser aplicado este entra en el ambiente mayormente a través del suelo, porque es encontrado en estiércoles y pesticidas. Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el Cadmio son: 1) diarreas, dolor de estómago y vómitos severos; 2) fractura de huesos; 3) fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad; 4) daño al sistema nervioso central; 5) daño al sistema inmune; 6) desordenes psicológicos; 7) posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer. (Romero, 2000).

En cuanto a los efectos del cadmio sobre el ambiente; el cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el Cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida puede incrementar. Los suelos que son ácidos aumentan la toma de Cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El Cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cadmio en sus riñones debido a esto. (Romero, 2000).

#### **2.3.1.4. Efecto en la rizosfera**

La rizosfera es el volumen de suelo sometido a la influencia de la actividad de las raíces. Este volumen de suelo es más o menos importante y varía en función de las plantas y el tipo de suelo. Los procesos que ocurren en la zona de las raíces son esenciales para la fitorremediación. La actividad y la biomasa microbiana son mucho mayores allí que en el suelo sin raíces. Las raíces liberan sustancias naturales en el suelo donde crecen, por medio del



exudado de las raíces. Promueven y mantienen el desarrollo de colonias microbianas, proporcionándoles de un 10-20% del azúcar producido por la actividad fotosintética de la planta. Son liberados muchos compuestos, Los microorganismos rizosféricos, a su vez, promueven el crecimiento de la planta (reducción de los patógenos, puesta a disposición de nutrientes...). En teoría, cuanto mayor sea la abundancia de raíces, con mayor abundancia van a proporcionar un área de desarrollo importante a la micro flora y micro fauna de la rizosfera. De hecho, los exudados radiculares promueven la biodegradación de la contaminación orgánica, estimulando la actividad micro microbiana. (Romero, 2000).

#### **2.3.1.5. Principio de la descontaminación del kikuyo**

Las plantas va absorber el contaminante para metabolizarlo o almacenarlo, reduciendo o evitando la liberación de contaminantes en otras zonas del medio (fitoestabilización). Con mucha frecuencia, los compuestos orgánicos (xenobióticos o no) puede ser degradados y metabolizados para el crecimiento de la planta. La contaminación se elimina así. En el caso de los compuestos inorgánicos contaminantes (metales, metaloides y radionucleidos), únicamente es posible su fitoestabilización o fitoextracción, porque estos tipos de agentes contaminantes no son biodegradables. (Hernández, 2004)

La fitorremediación se puede clasificar de acuerdo a su tipo de extracción en in y ex planta. En el caso de la contaminación por metales pesados y por compuestos orgánicos de alta y media solubilidad, como herbicidas, plaguicidas, solventes y explosivos, la extracción, acumulación o volatilización por la planta, en general, aporta un porcentaje relevante de la remoción debido a la mayor movilidad de estos compuestos hacia y en la planta. Lo anterior no se aplica en la remoción de la mayor parte de los componentes de

los HTP y otros contaminantes orgánicos de baja solubilidad, pues el papel directo de la planta en la extracción y remoción no es tan relevante. Esto se debe a que el contenido de materia orgánica, la solubilidad del compuesto y el propio suelo son barreras que tiene que superar un contaminante hidrofóbico para llegar a establecer contacto con la planta. Aunque si se analiza el fenómeno en otras condiciones físicas (en especial sin suelo), la planta puede tener respuestas complejas ante la presencia de un contaminante hidrófobo o hidrófilo y puede responder, de diversas maneras, a los efectos tóxicos que puede ejercer. (Hernández, 2004)

#### **2.3.1.6. Las distintas formas de fitorremediación**

- **Fitoextracción:** el uso de plantas que absorben y concentran en sus partes recolectables (hojas, tallos) los contaminantes contenidos en el suelo (a menudo metales pesados). Se utilizan plantas acumuladoras y / o hiperacumuladoras que sean capaces de tolerar y acumular los metales pesados. Es posible mejorar la extracción mediante la adición de quelatos en el suelo. En la mayoría de los casos las plantas se cosechan y se incineran, las cenizas se almacenan en lugares acondicionados para ello o son transformadas para recuperar los metales acumulados (a esto se le llama fitominería). (López, 2011)
  
- **Fitotransformación o fitodegradación:** algunas plantas producen enzimas (dehalogenasa, oxigenasa, ...) que catalizan la degradación de las sustancias absorbidas o adsorbidas, que se transforman en menos tóxicas o no tóxicas por la metabolización de los contaminantes en los tejidos vegetales o por los organismos de la rizosfera alimentados por la planta (esto se llama rizodegradación (*degradación por la rizosfera*). (López, 2011)

- **Fitofiltración o rizofiltración:** utilizados para la descontaminación y restauración de las aguas superficiales y subterráneas. Los contaminantes son absorbidos o adsorbidos por las raíces de las plantas en ambientes húmedos. (López, 2011)´
  
- **Fitovolatilización:** las plantas absorben el agua de la litosfera que contiene los contaminantes y otras toxinas orgánicas, transformándolos en elementos volátiles, y que luego liberan a la atmósfera a través de sus hojas. Ellas pueden, en algunos casos transformar los contaminantes orgánicos en elementos volátiles antes de transferirlos a la atmósfera - siempre a través de las hojas. La fitovolatilización no es siempre satisfactoria, porque si bien se descontamina el suelo, se liberan sustancias tóxicas a la atmósfera. En algunos casos es más satisfactoria, los contaminantes son degradados en componentes menos contaminantes o no-tóxicos antes de ser liberados. (López, 2011)
  
- **Fitoestabilización:** simplemente reduce la movilidad de los contaminantes. La técnica más utilizada es el uso de plantas para reducir la escorrentía superficial y subsuperficial, lo que limita la erosión y reduce la escorrentía hacia el acuífero subterráneo. Esta práctica integra el control de lo que comúnmente se llama control hidráulico, o fitohidrorregulación. *bombeo hidráulico*, (literalmente traducido del inglés) podrá efectuarse cuando las raíces lleguen a las aguas subterráneas, eliminando grandes volúmenes de agua y controlando el gradiente hidráulico y la migración lateral de los contaminantes en el acuífero. En resumen, se trata de usar plantas con alta evapotranspiración para reducir el movimiento de contaminantes procedentes de la escorrentía (lateral o profunda). Otra práctica es detener los compuestos contaminantes haciéndolos reaccionar químicamente. Las plantas adsorben los contaminantes del suelo, del agua o del aire, y los retienen a nivel

local (de ahí el uso del término «adsorción» en lugar de absorción) y la reducción de su biodisponibilidad. El proceso a veces se puede realizar, amplificándolo y acelerándolo mediante la adición de compuestos orgánicos o minerales, naturales o artificiales. Es un método eficaz para prevenir la dispersión de contaminantes en aguas superficiales o subterráneas. (López, 2011)

- **Fitorrestauración:** esta técnica consiste en la completa restauración de suelos contaminados a un estado cercano al funcionamiento de un suelo natural. Esta subdivisión de la fitorremediación utiliza plantas nativas de la zona expuesta a la labor de fitorremediación. Se intenta lograr el pleno restablecimiento de los ecosistemas naturales originales. Como se ha señalado por Peer (citado por Gómez, Villalba y Castañeda, 2004), en comparación con otras técnicas de fitorremediación, fitorrestauración pone de relieve la cuestión del nivel de descontaminación necesario y suficiente. Hay una gran diferencia entre un suelo descontaminado para lograr su adaptación satisfactoria a una ley y restaurar el espacio para hacerlo plenamente utilizable de manera que regrese a las condiciones pre-contaminación. Cuando nos referimos a la fitorrestauración de aguas residuales, se habla de un proceso relacionado con el uso de las plantas para lograr la descontaminación (Dabouineau citado por Gómez, Villalba y Castañeda, 2004). Usado en este sentido, se convierte en sinónimo de fitopurification. Este tipo particular de proceso incluye la depuración de agua por macrófitos. En este caso, son las bacterias que viven en la zona de las raíces de los macrófitos las que son garantes de la remediación, las plantas son, sencillamente, un sustrato de crecimiento de microorganismos (véase la estación de Honfleur). (López, 2011)

- **Fitoestimulación:** localizado principalmente en el rizosfera, es la estimulación por las plantas de las actividades microbianas favorables a la degradación de los contaminantes. Este aspecto, cuando se estudió, se encontró en todas las plantas hiperacumuladoras. (López, 2011)

#### **2.3.1.7. Ventajas de la fitorremediación**

Según López (2001) dentro de las ventajas tenemos:

- El costo de la fitorremediación es mucho menor que el de los procedimientos tradicionales *in situ* et *ex situ*
- Son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles, o con niveles de contaminación relativamente bajos;
- Al formar una cobertura vegetal mejora las propiedades físicas y químicas del suelo;
- No requiere la transportación del sustrato contaminado, evitando así la diseminación de contaminantes a través del aire o agua;
- Las plantas pueden ser fácilmente objeto de seguimiento;
- Recuperación y reutilización de metales valiosos, biomasa y agua (las empresas que se especializan en la fitominería);
- No requiere personal especializado para su manejo, debido a que se utilizan prácticas agronómicas convencionales;
- No requiere energía eléctrica.

#### **2.3.1.8. Desventajas de la fitorremediación**

Según López (2001) dentro de las desventajas tenemos:

- La fitorremediación se limita a la superficie y a la profundidad ocupada por las raíces (tenemos en cuenta que muchos contaminantes basados en los metales también se mantienen en la capa superior del suelo);

- Un crecimiento lento y baja biomasa requieren una inversión considerable en tiempo, o/y, a veces la adición de agentes quelantes u otras sustancias (para los contaminantes inorgánicos como los metales pesados). Puede ser usado con plantas de crecimiento rápido, que muestran una amplia gama de elección para la mayoría de los contaminantes de todo tipo;
- No se puede, con un sistema de remediación a base de plantas, evitar completamente el paso de contaminantes a la capa freática (esto solo es posible mediante la eliminación total del suelo). Una experiencia en Iowa (Estados Unidos), muestra, sin embargo, que álamos plantados entre un campo de maíz y un arroyo reducen significativamente la concentración de nitratos en las aguas superficiales: en el borde del campo contenía 150 mg/l de nitratos.

#### **2.3.1.9. Características de las plantas para la fitorremediación**

Estas son:

- Las plantas deben poseer la capacidad de ser hiperacumuladores de metales pesados u otras sustancias.
- Las mismas necesitan estar adaptadas al suelo y condiciones ambientales.
- Crecimiento rápido.
- Deben acumular la toxicidad en parte de la planta no comestibles.

#### **2.3.1.10. Mejora de los rendimientos**

La fitoacumulación está relacionada con la fitotolerancia de la planta hacia los contaminantes. La toxicidad de algunos contaminantes puede reducirse mediante la reducción química de los elementos implicados, que se transforman así en sustancias menos contaminantes, y/o mediante la incorporación de componentes orgánicos (otra forma de biotransformación). Se han llevado a cabo experimentos en electrocinética: el suelo se

somete a una corriente directa para promover el movimiento de iones en el suelo. La interacción entre la fitorremediación y la biorremediación *in situ* (uso en el suelo de microorganismos, o sus enzimas) también se está estudiando. El campo de la ingeniería genética orientada hacia la fitorremediación está teniendo un gran desarrollo. Según López (2001)

#### **2.3.1.11. Plantas hiperacumuladoras e interacciones bióticas**

Las plantas seleccionadas en la fitoextracción son elegidos por su capacidad de extraer grandes cantidades de contaminantes. Son plantas llamadas hiperacumuladoras. Las características comunes a estas plantas son: un rápido crecimiento; plantas resistentes y fáciles de arraigar y mantener; una alta capacidad de evapotranspiración (evaporación del agua a través de hojas) y la capacidad de transformar los contaminantes en productos no tóxicos o menos tóxicos. Entre las plantas más utilizadas están los álamos, que tienen un rápido crecimiento, adaptación climática grande y la capacidad de absorber grandes cantidades de agua (en relación con otras especies). Esta última cualidad les permite manejar grandes cantidades de contaminantes disueltos, así como limitar la cantidad de agua que escapa más allá de la zona contaminada - lo que limita también la dispersión de la contaminación. (Marín, 2003).

En 1999, Reeves et al listaron 320 especies acumuladoras provenientes de 43 familias. Su número es mucho mayor: por ejemplo, hasta la fecha (2006) se conocen cerca de 300 plantas hiperacumuladoras de níquel. Los centros de biodiversidad están en Cuba (clima subtropical) y Nueva Caledonia (clima tropical). Muchas de las especies estudiadas por su acumulación de

metales son Brassicaceas (clima templado y frío, hemisferio norte).

El equipo de investigación de Abdelhak El Amrani de la Universidad de Rennes, ha trabajado en diversos contaminantes, especialmente en el herbicida atrazina. Estos investigadores han descubierto un mecanismo en algunas plantas que les permite prosperar incluso cuando la concentración de la contaminación de los suelos en los que se hallan es normalmente letal para una planta no tratada. La presencia de algunos compuestos naturales biodegradables como las poliaminas exógenas, permite a las plantas tolerar concentraciones de contaminación 500 veces más alta en comparación con las plantas control. Este tratamiento da lugar a cambios en la expresión génica de las plantas, que afectan a genes conocidos en el proceso de resistencia al estrés ambiental. La técnica genética ha sido patentada por la Universidad de Rennes. (Marín, 2003).

### **2.3.2. Contaminación de suelos por relaves mineros**

El progreso de la ciencia y el acelerado crecimiento demográfico, llegan en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológico de la Tierra. No es que exista una incompatibilidad absoluta entre el desarrollo tecnológico, el avance de la civilización y el mantenimiento del equilibrio ecológico, pero es importante que el hombre sepa armonizarlos y lo mantenga a buen recaudo para las futuras generaciones. (Osorio y Roldan, 2006)

La actividad minería informal que se asienta en la Región Puno es responsable del deterioro del medio ambiente y la degradación de la calidad de vida. El auge e impactos que viene alcanzando en los últimos años la actividad minera, nos trae como consecuencia la pérdida de áreas verdes, de la flora, fauna y



contaminación de suelos y agua. Un ejemplo de este es el caso que se percibe en el centro poblado minero artesanal en la Rinconada. (Osorio y Roldan, 2006)

Preocupa a la organización mundial de la Salud en el aspecto de la salud humana incluida la calidad de vida que son determinados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales. También se refiere a la toma de conciencia en la conservación de la naturaleza, que debemos conservarla y no provocar cambios ambientales que pueden afectar en forma adversa la salud de las generaciones presentes y futuras. (Osorio y Roldan, 2006)

Para ello es necesario que se proteja los recursos renovables y no renovables y que se tome conciencia de que el saneamiento del ambiente es fundamental para la vida sobre el planeta, de tal manera que se cuente con un desarrollo sostenible, evaluando los cambios que se producen de una población creciente y de necesidades cada vez mayores que afronta la humanidad. Hay mucho que hacer para remediar este problema de Salud Pública, que no solo nos perjudica a nosotros sino a las futuras generaciones, las cuales no serán responsables de las irresponsabilidades que comentamos en la actualidad. (Osorio y Roldan, 2006)

### **2.3.3. Antecedentes de relaves mineros en el Perú – caso Puno**

#### **2.3.3.1. Antecedentes**

La cuenca más dañada por la minería informal como consecuencia de los relaves es el río Ramis, el cual se abre paso entre montañas hasta su desembocadura en el lago Titicaca. Pasa por campos agrestes y áridos, pero lo que más nos llama la atención es el color de sus aguas: un café oscuro que demuestra el daño infligido a la cuenca. Más de cinco mil mineros extraen oro con maquinaria

pesada. No son artesanos, sino mineros de mediano nivel. Para amalgamar el oro usan mercurio y cianuro. Ambos químicos han destruido por completo la flora y fauna del Ramis. Las aguas del Ramis deberían ser cristalinas porque sus orígenes están en el deshielo de los nevados y micro cuenca de la Cordillera Oriental. (Chávez, 2014)

Lamentablemente la minería ilegal se instaló en estas zonas. Ahora la turbidez de la cuenca se debe a la carga de relaves mineros del distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina. Según la Dirección Regional de Agricultura de Puno, la contaminación del Ramis ha provocado la desaparición de la agricultura en varios poblados que se encuentran en sus márgenes. En las localidades más afectadas, desde hace diez años no se siembra nada porque los campesinos no tienen agua limpia. (Chávez, 2014)

### **2.3.3.2. Ubicación de los centros mineros**

Actualmente existen en el departamento de Puno, 2,400 derechos mineros. Los cuales se dedican a:

#### **a) Extracción de metales**

En la provincia de Sandía, Carabaya, San Antonio de Putina y Lampa extraen Oro En la Mina San Rafael, extraen el Estaño, en la Prov. Melgar, su cancha de relave son los rios Carabaya, Azángaro y Ramís ,Mina el Cofre, extraen el oro en la provincia de Lampa, sus canchas de relaves son los ríos Cabanillas y Coata. Mina Santa Rosa y Tucari – Aruntani SAC, extraen el oro en el distrito de Carumas, su cancha de relave es el rio llave. .En el resto de provincias extraen la plata, antimonio estaño que no solo contaminan

las aguas sino también los suelo, qué ya no producen. (Chávez, 2014)

**b) Extracción no metálicos;** Tenemos la Planta Concentradora (Casiterita), el Yeso, Caliza, Mármol, Arenas y Gravas. Todos ellos se extraen en las demás provincias de Puno afectando el medio ambiente y el habitat natural.

Los estudios nos demuestran que el pueblo más afectado es la Rinconada donde la amalgamación del oro consume  $\frac{1}{2}$  Kg de mercurio por 35 Kg de residuo de mineral, altamente contaminante y el refogado de Oro con emisión a la atmosfera. Así mismo la contaminación con Cianuro, con recuperación de metales en relaves, usando lavaderos naturales, los cuales contaminan la vertiente del Titicaca, afectando y agravando la Salud Publica de más de 1 millón de habitantes .En ese sentido, se menciona los que afecta más, por los desborde de los relaves producto de la minería ilegal. (Chávez, 2014)

- **Contaminación en el agua:** los relaves mineros junto con las vertientes de aguas.
- **Vertimiento de aguas servidas:** la mayor parte de los centros urbanos vierten directamente los desagües (aguas negras o servidas) a los ríos, que van a terminar su cauce en el Lago Titicaca. Este problema es generalizado en toda la región Puno. Los desagües contienen excrementos, detergentes, Residuos industriales, petróleo, aceites y otras sustancias que son tóxicas para las plantas y los animales acuáticos. Con el vertimiento de desagües, sin previo tratamiento, se dispersan agentes productores de enfermedades (bacterias, virus, hongos, huevos de

parásitos, amebas, etc.). Los cuales van afectar la salud de los pobladores. (Chávez, 2014)

- **Vertimiento de desmontes y basura en las aguas.**

En la región Puno como en todo el país nos hemos acostumbrado al vertimiento de basuras y desmontes en las orillas de los ríos, sin ningún cuidado y en forma absolutamente desordenada. Los mineros ilegales contribuyen arrojando sus sobrantes que contienen fierro, cobre, zinc, mercurio, plomo, arsénico y otras sustancias sumamente tóxicas para las plantas, los animales y el ser humano. Esta forma de contaminación de las aguas es muy difundida y los responsables son los centros mineros y las concentradoras. (Chávez, 2014)

### **2.3.3.3. Contaminación en el suelo**

Según Chávez (2014) el abandono o depósito de todo tipo de contaminantes en el suelo ha sido durante décadas una solución efectiva y barata para deshacerse de estos residuos. Actualmente la capacidad de los existentes de eliminación de residuos es muy inferior a las necesidades reales en todo el mundo. Con respecto a clasificación de la contaminación de los suelos:

- **Superficial:** deriva de una acumulación de residuos vertidos accidental o voluntariamente en el terreno.
- **Subterránea:** se corresponde con el caso de enterramiento de residuos. Su localización es realmente compleja, teniendo como único indicio aparente el cambio en la textura superficial del terreno.

- **Vertido alevoso:** es a menudo coincidente con los subterráneos, derivados de la ilegalidad de dicho vertido. Es una de las formas de contaminación más peligrosas dada la presencia de sustancias tóxicas y peligrosas y del desconocimiento del foco contaminante.
- **Vertido no alevoso:** son aquellos en los que el origen de la contaminación es fortuita o por negligencias en la gestión de los contaminantes. Son los casos de fugas de depósitos, accidentes en los que se produce la liberación al medio de sustancias tóxicas.
- **Contaminación difusa:** Es en la que no existe un foco concreto de contaminación del suelo sino que se manifiesta de forma extensiva. Normalmente son contaminaciones de escasa concentración pero de grandes volúmenes absolutos.
- **Contaminación puntual:** es una contaminación localizada con un núcleo emisor desde el que pueden mobilizarse los contaminantes a otros elementos del medio (atmósfera, aguas superficiales y subterráneas).

Con respecto a los efectos de la contaminación de los suelos cabe mencionar que la presencia de contaminantes en un suelo supone la existencia de efectos nocivos para el hombre, la fauna en general y la vegetación. Estos efectos tóxicos tendrán consecuencias diferentes según sea el contaminante y de la concentración del mismo. De forma general, la presencia de contaminantes en el suelo se refleja de forma directa sobre la vegetación y la calidad de cosechas que se obtienen como resultado de la degradación

del mismo. En el hombre, los efectos se observan en la ingesta y contacto dérmico, que en algunos casos ha desencadenado en intoxicaciones por metales pesados y más fácilmente por compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles, muchos de los cuales son absorbidos y acumulados por la vegetación y llegan a la mesa del hombre y a la fauna en dosis muy superiores a las que podrían hacerlo por ingestión en la tierra. Los relaves mineros y desechos industriales derramados en su superficie, depositados en estanques o enterrados dañan mucho más y son más contaminantes que otros productos. (Chávez, 2014)

También los abonos sintéticos (urea, nitratos, fosfatos, cloruros, etc.) deben ser usados con moderación y cálculo, pues su abuso intoxica y mata la fauna y flora. Trasladados con la corriente del agua, los abonos llegan a los ríos, a los lagos y al mar, afectando a plantas y animales acuáticos. Por eso es mejor usar abonos orgánicos como el guano de isla, humus, abonos verdes, estiércol de animales, etc. Los pesticidas o plaguicidas son compuestos químicos utilizados para controlar plagas (insectos, hongos, bacterias, roedores, malezas, algas). Los más comunes son los insecticidas, herbicidas, fungicidas, los matan roedores, y los alguicidas (matan algas). (Chávez, 2014)

#### **2.3.4. La capacidad de fitoextraer de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)**

##### **2.3.4.1. El kikuyo**

El kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es una gramínea perenne de origen africano, que ha invadido las tierras andinas especialmente de Ecuador y Colombia,

donde existen grandes extensiones con hierba, entre los 1800 y 3200 m.s.n.m. (Hernández, 2004). Es un pasto robusto, que se extiende por rizomas. Este pasto fue introducido en Sudamérica con el fin de mejorar los potreros para la cría de ganado (Benitez, 1980). Es la gramínea más común y mejor adaptada de clima frío. No prospera bien en suelos pobres, pero si en suelos fértiles; es tolerante a la sequía pero muy susceptible a las heladas, por esta razón en zonas que presentan recuentes heladas durante el año, es recomendable sustituirlo por otras especies resistentes a este fenómeno natural. Es de duración perenne (Osorio y Roldan, 2006).

Su nombre científico es *Pennisetum clandestinum* y las siguientes son sus categorías taxonómicas superiores: Reino: Plantae; Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares); Súper división: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase angiosperma; Subclase monocotiledónea, Familia: POACEAE. Especie: *Pennisetum y clandestinum* (Osorio y Roldan, 2006). A continuación se muestra una descripción técnica de esta hierba: (De la torre, Navarrete, Murie, y Balslev, 2008). Nombres comunes: Kikuyo (castellano), Gamma, Kikuyograss (castellano – inglés)  
Origen: Introducida. Cultivada.  
Hábito y forma de vida: Planta perenne, rastrera, formando matas. Puede trepar, apoyándose en arbustos.  
Tamaño: De 5-10 cm de longitud  
Etnias: Kichwa de la Sierra, Mestiza.  
Usos: Alimento de vertebrados. Las hojas se usan como forraje.  
Medicinal: Se usa cocida para tratar infecciones.

Medioambiente: Es una especie adecuada para evitar la erosión de los suelos.

#### **2.3.4.2. Aplicaciones del Kikuyo**

Este pasto puede utilizarse para pastoreo, como heno, en prados, parques, jardines y áreas deportivas (Dugarte y Ovalles, 1991).

#### **2.3.4.3. Adsorción**

El proceso de adsorción fue observado primeramente en gases en el año 1773 por C. W. Scheele y luego para las soluciones por Lowitz en el año 1785; actualmente se reconoce como un fenómeno importante para la mayor parte de los procesos físicos naturales, biológicos y químicos. La adsorción sobre sólidos, particularmente carbón activo, ha llegado a utilizarse ampliamente para la purificación de aguas y aguas residuales (Weber, 1979).

La adsorción implica acumulación en la interfase o la concentración de sustancias en una superficie o interfase. El proceso puede ocurrir en una interfase que separa a las dos fases, tales como líquido-líquido, gas-líquido, gas-sólido o líquido-sólido (Weber, 1979). El material que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama adsorbato y la fase que adsorbe se llama adsorbente (Izquierdo, Cunill, Tejero, Iborra y Fité, 2004).

La adsorción consiste en un aumento de la concentración de algunas especies en la superficie debido a fuerzas de interacción atractivas entre los átomos de la superficie del sólido y las moléculas del gas o iones de la solución en contacto con la superficie. Dado que hay más de una fase presente el sistema es heterogéneo y a la región que separa ambas fases se la denomina interfase. El



fenómeno de adsorción está limitado a la superficie expuesta del sólido y se distingue del de absorción pues el adsorbato (especie que adsorbe) no penetra al interior del material. También es importante señalar que el fenómeno de adsorción no se limita a las interfases sólido-líquido o sólido-gas sin embargo estos son los casos más importantes desde el punto de vista de las aplicaciones (Bottani, Héctor, Pliego, y Villareal, 2006).

La adsorción puede realizarse por dos vías: por contacto, a base de mezcla y agitación, o por percolación en columna. En el primer caso, el adsorbente deberá estar pulverizado para que el contacto sea máximo. En el segundo, el adsorbente deberá estar granulado, para poder percolar en la columna; en esta sólo es activa una parte, la zona de transferencia de materia cuya longitud depende de la velocidad del flujo a través del adsorbente y de la velocidad del proceso (Seoanez, 2004).

Contrariamente, la absorción es un proceso en el cual las moléculas o átomos de una fase interpenetran casi uniformemente en los de la otra fase constituyéndose una "solución" con esta segunda (Weber, 1979).

Cabe distinguir tres tipos de adsorción según que la atracción entre el soluto y el adsorbente sea de Van der Waals (adsorción física o fisisorción), de naturaleza química (adsorción química o quimisorción) o de tipo eléctrico (adsorción por intercambio iónico) (Romero, 2000).

#### **2.3.4.4. Adsorción física o fisisorción**

La adsorción física es cuando las fuerzas involucradas son del tipo de Van der Waals, el adsorbato está retenido débilmente sobre la superficie y solamente es necesario elevar la temperatura para remover las especies adsorbidas (Bottani, Héctor, Pliego, y Villareal, 2006).

La adsorción física es generalmente rápida. Es reversible, y alcanza una condición de equilibrio entre el adsorbato adsorbido y el disuelto, inmediatamente después del contacto con el adsorbente. Sin embargo, cuando el adsorbente es un sólido poroso o cuando la concentración del adsorbato es pequeña, el contacto total puede estar limitado por procesos difusionales u otros procesos de transporte; entonces, el alcance de equilibrio también es demorado (Romero, 2000).

La adsorción física tiene un gran interés en la catálisis por sólidos, pues proporciona un método de medida de áreas superficiales de catalizadores, de determinación de tamaño de poros y de la distribución de los mismos (Izquierdo, Cunill, Tejero, Iborra, y Fité, 2004).

En una adsorción física el adsorbato puede removerse de la superficie (desorción) sin producir ningún cambio en la estructura del adsorbente (Bottani, Héctor, Pliego, & Villareal, 2006).

#### **2.3.4.5. Adsorción Química o Quimisorción**

En la adsorción química la interacción entre el adsorbente y el adsorbato es mucho más fuerte y se llega a la formación de un verdadero enlace químico entre los

átomos de la superficie del adsorbente y los del adsorbato. En este caso la adsorción es marcadamente irreversible (Bottani, Héctor, Pliego, y Villareal, 2006). La adsorción química se asemeja a una reacción química y requiere una transferencia de electrones entre adsorbente y adsorbato. La importancia de la quimisorción es capital pues casi todas las reacciones catalizadas por un sólido requieren, como etapa intermedia en el proceso global, la quimisorción de uno o más reactantes. Identificar y conocer cómo se comportan las especies quimisorbidas es básico para comprender los mecanismos catalíticos reales. Asimismo, la quimisorción es la base de una técnica de determinación del área específica de un componente particular del catalizador, por ejemplo un metal, a diferencia del área específica total que se determina por adsorción física (Izquierdo, Cunill, Tejero, Iborra, y Fité, 2004). En la desorción de una especie quimisorbida, en general, se produce alguna alteración en la estructura de la superficie del adsorbente (Bottani, Héctor, Pliego, y Villareal, 2006).

#### **2.3.4.6. Adsorción por intercambio iónico**

La adsorción por intercambio iónico, a menudo se le llama adsorción por intercambio, es un proceso mediante el cual los iones de una sustancia se concentran en una superficie como resultado de la atracción electrostática en los lugares cargados de la superficie. Se debe a la atracción eléctrica entre el adsorbato y la superficie del adsorbente, en donde los iones de un contaminante se concentran sobre sitios de carga eléctrica opuesta sobre la superficie del adsorbente. Para dos adsorbatos iónicos posibles, a igualdad de otros factores, la carga del ion es el factor determinante en la adsorción de intercambio. Para iones de

igual carga, el tamaño molecular (radio de solvatación) determina el orden de preferencia para la adsorción (Romero, 2000).

#### **2.3.4.7. Efecto hidrofóbico**

La adsorción de una molécula de soluto orgánico sobre la superficie de un sólido puede implicar los siguientes pasos: - Eliminación de la molécula de soluto de la disolución. - Eliminación del disolvente de la superficie sólida. - Unión del soluto a la superficie del sólido. La energía neta de la interacción de la superficie con el adsorbato puede originar fuerzas químicas de corta alcance, como enlaces covalentes, enlaces hidrofóbicos, enlaces de hidrógeno o efectos de orientación (estéricos), y fuerzas de largo alcance como las fuerzas de atracción electrostáticas o de Van der Waals (Marín, 2003).

Las sustancias hidrofóbicas que son poco solubles en agua tienden a adsorberse en las superficies sólidas. Los dipolos y grandes iones orgánicos se acumulan preferencialmente en la interfase sólido-agua, básicamente porque sus partes hidrocarbonadas tienen baja afinidad por la fase acuosa. Los iones simples inorgánicos, incluso si son atraídos por la superficie de un coloide, pueden permanecer en disolución porque se encuentran fuertemente hidratados. Estas consideraciones explican la regla cualitativa de que los adsorbentes polares adsorben preferencialmente los componentes más polares de disoluciones no polares, mientras que las superficies no polares adsorben preferentemente los componentes menos polares de una disolución polar. (Marín, 2003).

Una consecuencia adicional del efecto hidrofóbico es la regla de Traube: la tendencia de disoluciones acuosas a adsorber sustancias orgánicas crece sistemáticamente con el peso molecular en una serie homóloga de solutos. Las sustancias hidrofóbicas, como los hidrocarburos, son solubles en muchos disolventes no polares y poco solubles en agua; así, estas sustancias tienden a reducir su contacto con el agua y prefieren entornos menos polares. Muchas moléculas orgánicas (jabones, detergentes, alcoholes de cadena larga, etc.) son de naturaleza dual, esto es, contienen partes hidrofóbicas e hidrofílicas: son anfipáticas, lo que ocurre en una interfase aceite-agua. Estas moléculas tienden a migrar hacia las superficies o interfases de las disoluciones acuosas, además de mostrar tendencia a la autoasociación o formación de micelas. Esto puede considerarse como el resultado del enlace hidrofóbico. La atracción por entre grupos no polares no es debida principalmente a una afinidad particular por estos grupos, sino por las intensas fuerzas de atracción entre las moléculas de agua que deben romperse cuando un soluto se disuelve en agua. El efecto hidrofóbico es quizás el factor simple más importante en la organización de constituyentes celulares de soporte como membranas y orgánulos. En resumen, el efecto hidrofóbico puede visualizarse como resultado no de la atracción entre el soluto y la superficie, sino entre las propias moléculas de agua, que dificulta la entrada del soluto hidrofóbico en la fase acuosa. (Marín, 2003).

#### **2.3.4.8. Propiedades de un sorbente**

Un material sorbente utilizado en la lucha contra la contaminación por hidrocarburos, posee las siguientes propiedades (Silos, 2008):

- Alta capacidad de adsorción para diferentes tipos de petróleo.
- Alta repelencia del agua.
- Alta capacidad de retención.
- Un valor de gravedad específica tal que el conjunto sorbente / relave permanezca a flote.
- Una resistencia mecánica a la compresión adecuada, para evitar que el RELAVE se derrame durante la fase de recuperación del solvente usado.
- Fácil reutilización y /o eliminación.

La fitorremediación es una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes, que en la actualidad está siendo aplicada en diversos países para recuperar suelos contaminados tanto con compuestos orgánicos como inorgánicos. Frente a las tradicionales técnicas físico-químicas, la fitorremediación presenta diversas ventajas entre las que se puede destacar su menor coste económico, su aproximación más respetuosa con los procesos ecológicos del ecosistema edáfico, y el hecho de ser una tecnología social, estética y ambientalmente más aceptada. Por ello, no es de extrañar que la fitorremediación se contemple cada vez más como una alternativa medioambientalmente respetuosa, frente a las técnicas físico-químicas. (Silos, 2008)

Es importante recordar que el término fitorremediación engloba una serie de fitotecnologías diferentes en lo concerniente, sobre todo, a los mecanismos fisiológicos implicados en la recuperación de los suelos contaminados (por ej., fitoextracción, fitovolatilización, fitodegradación, rizofiltración, fitoestabilización, etc.), cuya

explicación excede los objetivos de este artículo. (Silos, 2008)

Dentro del campo de la fitorremediación, la fitoextracción es la fitotecnología más prometedora para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, los cuales suelen presentar una alta persistencia en los suelos (al fin y al cabo, a diferencia de los contaminantes orgánicos, no hay que olvidar que los metales pesados no pueden degradarse por procesos químicos ni biológicos). La fitoextracción se basa en el hecho de que, mediante diversos procesos fisiológicos, las plantas pueden actuar como bombas de succión, alimentadas por energía solar a través de la fotosíntesis, que literalmente extraen los metales del suelo a través de sus raíces para después acumularlos en sus tejidos aéreos. Una vez que las plantas han acumulado los metales en sus tejidos aéreos, se cosechan y posteriormente se transportan para su deposición en un vertedero controlado, su incineración o su compostaje. Por supuesto, si las plantas son incineradas, las cenizas, en las que se encuentran los metales que la planta había acumulado, se deben tratar como residuos tóxicos y peligrosos, y enviarse a vertederos controlados. En ocasiones, si su valor en el mercado así lo justifica, es factible recuperar los metales de las cenizas para posteriormente reutilizarlos (fitominería). (Silos, 2008)

Las plantas con mayor potencial para la fitoextracción de metales son las especies metalofitas, plantas que gracias a diversos mecanismos fisiológicos sobreviven, muchas veces de forma endémica, en suelos que presentan niveles elevados de metales. Dentro de ellas, las plantas

denominadas hiperacumuladoras son de gran interés pues presentan de forma natural una impresionante capacidad para tolerar, absorber y acumular elevadas concentraciones de metales en sus tejidos. Estas rarezas botánicas han de ser preservadas pues, además de su valor intrínseco como parte de una biodiversidad vegetal que ha desarrollado durante miles de años la capacidad para sobrevivir en suelos con altas concentraciones de metales, son una herramienta biológica valiosísima para la recuperación de suelos contaminados por actividades industriales y mineras. (Silos, 2008)

Entre las plantas hiperacumuladoras de metales la especie *Thlaspi caerulescens* merece un lugar destacado por su portentosa capacidad para acumular grandes cantidades de zinc y cadmio en sus tejidos aéreos. De hecho, esta especie puede acumular de forma simultánea más de un 3,0 y 0,1% (en peso seco) de zinc y cadmio, respectivamente, en su parte aérea. Desafortunadamente, muchas de las especies hiperacumuladoras de metales, como *Thlaspi caerulescens*, son de crecimiento lento, baja biomasa y presentan un sistema de raíces poco profundo, lo que implica que si el suelo está contaminado con altas concentraciones de metales, se necesitan muchos años para que esta fitotecnología reduzca la concentración de metales hasta niveles aceptables. (Silos, 2008)

En estas situaciones, se suele optar por la fitoestabilización pues presenta un gran potencial para la revegetación y recuperación de emplazamientos contaminados con metales. La fitoestabilización se basa en la inmovilización de los metales, para así disminuir su



biodisponibilidad (accesibilidad a los organismos vivos) y evitar su transporte a otros compartimentos ambientales, en las raíces de las plantas. De esta forma, los metales quedan localizados en el emplazamiento contaminado y, al haberse disminuido su biodisponibilidad, se minimiza mucho el impacto ambiental que estos contaminantes pueden causar en el ecosistema edáfico. En relación con la fitorremediación, y al igual que sucede con cualquier otra tecnología de recuperación de suelos contaminados, es necesario enfatizar que el objetivo último de esta fitotecnología no debe ser solamente eliminar el contaminante o, en su defecto, reducir su concentración hasta límites marcados en la legislación, sino sobre todo recuperar la salud del suelo, entendida ésta como la capacidad de este recurso para realizar sus funciones (i.e., proveer sus servicios) de forma sostenible desde una doble perspectiva antropocéntrica-ecocéntrica. (Silos, 2008)

Por ello, es indispensable disponer de un sistema adecuado de indicadores fiables de la salud del suelo para así poder llevar a cabo una evaluación cuantitativa de la eficacia del proceso fitorremediador. A este respecto, recientemente, los indicadores biológicos o bioindicadores de la salud del suelo han surgido con fuerza debido a su sensibilidad, su carácter integrador, y su elevada velocidad de respuesta frente a cualquier perturbación o variable introducida en el ecosistema edáfico. Dentro de los indicadores biológicos de la salud del suelo, aquellos que reflejan la biomasa, actividad y biodiversidad de las comunidades microbianas del suelo, presentan un enorme potencial como herramienta monitorizadora de la eficacia de un proceso fitorremediador. (Silos, 2008)

Finalmente, a modo de conclusión, enfatizar que la fitorremediación presenta un enorme potencial como tecnología de recuperación de suelos contaminados respetuosa con el medio ambiente y con los procesos ecológicos que en él se desarrollan. (Silos, 2008)

### **2.3.5. Geomecánica de suelos en Samarca**

#### **2.3.5.1. Samarca**

El Centro Poblado de Samarca se encuentra en un desvío de la carretera a Ocaña a 15 Km. de la provincia de Palpa. El Centro Poblado de Samarca pertenece al distrito y provincia de Palpa, del departamento de Ica y cuenta con una población que asciende a un total de 115 habitantes. Esta comunidad se encuentra ubicada en una pendiente en forma de V y tiene las siguientes coordenadas: latitud: -14.4961 y longitud: -75.1014, y con una altitud de 612 msnm. Los moradores del Centro Poblado de Samarca se dedican en su mayoría a la minería artesanal, netamente a la búsqueda de oro; mientras que una gran minoría se dedica a la agricultura, a la pesca de camarones y a la crianza de ganado.

#### **2.3.5.2. Topografía**

El relieve de la zona es semi accidentado con altura de 2611 m.s.n.m. por estar en la cordillera de los Andes. El centro poblado de Samarca está conformado por una cadena compleja de cerros. La cordillera con sus numerosas quebradas de espacios limitados, abruptos y empinados, pendientes rocosas casi verticales, con secciones predominantemente en forma de "V" y fondo estrecho.

### **2.3.5.3. Fisiografía**

En Saramarca es notoria la presencia de 03 suaves quebradas que forman explanadas jóvenes a media falda y que son parte importante en la configuración del terreno. Las partes altas del área de estudio constituidos por una superficie abrupta que son parte de una penillanura, presentan también elevaciones concordantes. En general no hay drenaje fuera del área, y está compuesta por una pendiente moderada que se desarrolla sobre la superficie de erosión, formándose quebradas estrechas con moderadas pendientes.

### **2.3.5.4. Clima**

En el área de estudio, el clima entre marzo y octubre, es templado durante el día y frío durante la noche, variando las temperaturas de 18 °C a 20 °C durante el día y de 4 °C a 10 °C durante la noche. Los vientos alisios del Noroeste de noviembre a abril vienen poco cargados de humedad, formando algunas veces neblinas espesas en el área de mina, ocasionando ligeras lluvias desde el Océano Pacífico, y caen en las partes altas de los Andes. Muy poco de estas lluvias transponen la Divisoria Continental en las quebradas vecinas como chaparra y mollehuaca y las estribaciones del lado del Pacífico.

### **2.3.5.5. Meteorología**

- **Temperatura °C.:** Varía de acuerdo a la altitud del área: en el estrato correspondiente a los 2000 y 3000 SNM se tiene temperatura promedio anual de 18 °C para los niveles superiores y de 10 °C para los niveles inferiores y de 26 °C para los niveles más altos.

- **Humedad Relativa (%):** La información abarca desde el año de 2006 a 2009, presenta una humedad relativa promedio anual de 28% obteniéndose los mayores valores durante el año.
  
- **Horas de sol:** En la zona donde se encuentra Mina Cristoforo 17, indica que el promedio total anual de instalación es de 3650 horas durante el año, la insolación en este sector presenta 2 épocas bien marcadas; es mayor durante el invierno cuando alcanza un promedio total mensual de 260 horas de sol y menor en las épocas de invierno.
  
- **Nubosidad:** El régimen de distribución es similar a la Región Andina, los días más nublados ocurren durante los meses de Verano (Diciembre-Abril) y los días más despejados durante los meses invernales (Mayo-Septiembre) El promedio mensual es mayor durante el verano en que se aproxima a los 7/8 y es menor en invierno cuando llega a los 3/8, existiendo una oscilación media anual en el orden de los 4/8.

#### **2.3.5.6. Geología local**

En el área de estudio y aledaña se encuentra rocas intrusivas volcánicas y sedimentarias, es así que en esta zona se encuentran 02 estructuras mineralizadas.

- **Formación guaneras:** De edad Cretaceo Inferior, formando por cuarcitas grises claro a Blanquecinas, de grano fino, se presentan como estratos gruesos y bastante plegados alternando con estratos menores de Pizarras.

- **Formación yauca:** De edad Cretaceo Inferior a Medio, constituido desde su parte inferior a superior por Lutitas, Lutitas Carbonosas, finamente estratificadas y deleznales, Areniscas y Cuarzitas de grano fino, de color negro grisáceo.
- **Rocas intrusivas:** Relacionadas al Batolito costero de edad Cretaceo Medio, constituido por Monzonita Cuarzifera que es una roca intermedia formada por Plagioclasa, Biotita, Hornablenda, Cuarzo y cantidades muy pequeñas de Feldespatos Potásicos. Dentro de estas rocas se encuentran las vetas metálicas.
- **Volcánicos:** De edad Cretáceo Superior a Terciario Medio, formado por andesitas porfiríticas que varían de color café gris, blanquecino a verdosas.

## **2.4. Marco Conceptual**

### **2.4.1. Calidad ambiental**

Son los atributos mensurables de un producto o proceso que en conjunto manifiestan su salud e integridad ecológica. (Becerril, 2007).

### **2.4.2. Calidad de vida**

Es el cumplimiento por parte del Estado de sus funciones esenciales para satisfacer las necesidades básicas de alimentación, vivienda, salud y educación a través de servicios públicos. Es un complemento necesario del medio ambiente. (Becerril, 2007).

#### **2.4.3. Contaminación**

Es el cambio indeseable de las características físicas, químicas o biológicas del aire, del agua o del suelo que puede afectar de manera adversa la salud, la supervivencia o las actividades de los humanos o de otros organismos vivos. (Becerril, 2007).

#### **2.4.4. Contaminación ambiental**

Es la presencia, en el ambiente, de uno o más elementos contaminantes o cualquier combinación de ellos que degraden la calidad del aire, tierra o recursos naturales en general. (Becerril, 2007).

#### **2.4.5. Daño ambiental**

Es toda actividad humana individual o colectiva que ataca los elementos del patrimonio ambiental, que causa un daño social por afectar intereses pertenecientes a la comunidad, y no tiene por finalidad la tutela del interés de un sujeto en particular. (Silos, 2008)

#### **2.4.6. Fitodegradación**

Es la fitotecnología en el que se usa plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos. (López, 2011)

#### **2.4.7. Fitoestabilización**

Es la fitotecnología en la cual se hace uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, alterando su composición ha formas más estables. (López, 2011)

#### **2.4.8. Fitoextracción**

Es la fitotecnología más prometedora para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, los cuales suelen

presentar una alta persistencia en los suelos (al fin y al cabo, a diferencia de los contaminantes orgánicos, no hay que olvidar que los metales pesados no pueden degradarse por procesos químicos ni biológicos). (López, 2011)

#### **2.4.9. Fitoimmobilización**

Es la fitotecnología en la cual se usa las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la técnica anterior se les denomina de contención. (López, 2011)

#### **2.4.10. Fitorremediación**

Es una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes. (López, 2011)

#### **2.4.11. Planta Kikuyo**

El kikuyo cuyo nombre científico es *Pennisetum clandestinum* es una gramínea perenne de origen africano, que ha sido introducida en Latinoamérica y que la encontramos en Palpa. (López, 2011)

#### **2.4.12. Medio ambiente**

Es el entorno vital; el conjunto de factores físico-naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en la que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia. (Silos, 2008)

#### **2.4.13. Minería**

Actividad dedicada a la obtención selectiva de minerales y otros materiales (salvo materiales orgánicos de formación reciente) a partir de la corteza terrestre. (Silos, 2008)

#### **2.4.14. Minería artesanal**

Actividad minera que teniendo características de minería ilegal, se realiza en zonas autorizadas para la actividad minera y que se caracteriza por la poca tecnología empleada en el ciclo minero. (Silos, 2008)

#### **2.4.15. Minería ilegal**

Actividades mineras que se realizan sin cumplir con las exigencias de las normas de carácter administrativo, técnico, social y ambiental que rigen dichas actividades y que se ubican en zonas no autorizadas para el ejercicio de dicha actividad. (Silos, 2008)

#### **2.4.16. Planta endémica**

Es aquella especie de planta que está restringido a una ubicación geográfica muy concreta y fuera de esta ubicación no se encuentra en otra parte. (Becerril, 2007).

#### **2.4.17. Quimbalete**

Aparato de hierro o piedra en forma de media luna destinado a la molienda de mineral. (Silos, 2008)

#### **2.4.18. Relaves mineros**

Son desechos tóxicos provenientes de la actividad minera y que generan un relativo desequilibrio en los ecosistemas, afectan la salud pública, degradan cuerpos de agua y modifican paisajes naturales. (Silos, 2008)

#### **2.4.19. Rizofiltración**

Es la fitotecnología en el que se hace uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos. (López, 2011)



## **CAPÍTULO III**

### **SOLUCIÓN PROPUESTA**

#### **3.1. Análisis de la solución propuesta**

La aplicación de la fitorremediación de los suelos contaminados por los relaves mineros a través de utilización de la planta endémica kikuyo, es la medida de solución que busca utilizar determinadas plantas endémicas como el kikuyo para recuperar la calidad de los suelos que han sido contaminados por largo tiempo por los relaves que generados a raíz de la actividad minera artesanal desarrollada por la mayoría de población de Saramarca. Lo que representa una problemática ambiental que afecta a la salud de la población y de las poblaciones vecinas por la proliferación de agentes y vectores contaminantes, así como los sistemas ecológicos sub-andinos, principalmente a la flora y fauna ubicadas en la zona del estudio.

##### **3.1.1. Análisis estratégico**

En nuestra zona de estudio que predominantemente es minera, y en menor medida agrícola, marisquera y ganadera, es preocupante percibir la creciente contaminación de los suelos y por consiguiente del agua subterránea como superficial de la zona y de los productos derivados de las actividades productivas ya mencionadas, realidad que plantea la disyuntiva de cómo remediar las áreas contaminadas por la operación y funcionamiento de las actividades mineras artesanales. En ese sentido hace falta la implantación de un sistema basado en la utilización de plantas endémicas de la zona, como el kikuyo, que pueda generar un

impacto positivo al absorber los metales pesados de los relaves mineros y mejorar la calidad del suelo de la zona de Saramarca.

### **3.1.2. Análisis funcional**

La fitorremediación de suelos contaminados por los relaves mineros a través de plantas endémicas, supone un tipo de tecnología relativamente reciente. Es así que en la zona de Saramarca, implementar la fitorremediación utilizando la planta endémica Kikuyo presenta un gran potencial, ya que esta tecnología además de ser amigable con el ambiente, resulta ser menos costosas y puede ser más fácilmente aceptadas por la población en general de Saramarca. Asimismo, esta fitotecnología presenta mayor probabilidad de éxito. Si bien esta tecnología tiene como algunas desventajas el tiempo en visualizar los resultados, ya que el kikuyo no crece de la noche a la mañana en la zona ni mucho menos el proceso de descontaminación se da de un día para otro, es posible alterar algunos los factores externos que influyen en la fitorremediación para incrementar los resultados positivos y recuperar ciertas áreas devastadas por la minería y ponerlas en las condiciones adecuadas para mejorar las actividades productivas y la salubridad de la población de dicha zona.

### **3.1.3. Etapas de la solución**

Se desarrolla en tres fases:

- **Primera Etapa.-** Se procedió a pedir el respectivo permiso oral al propietario del terreno, Sr. Eugenio Huarcaya Moran, para utilizar una parte de su propiedad, ya que el terreno de su propiedad es uno de los terrenos más expuestos a la contaminación por su cercanía (20 m.) a la acequia, la misma que se encuentra a 50 m. del río donde se echan los relaves de la minería. Con la venia del propietario se procedió a realizar el estudio en una parte de su propiedad, en un área de 3 m. de

largo por 2 m. de ancho. Habiendo tenido el permiso del propietario y ubicados en el terreno (área de estudio) se procedió a adecuar el lugar, lo que permitió la manipulación y evaluación inicial o diagnóstica del suelo contaminado, es decir, se procedió a realizarse el pretest (18 de mayo del año 2017), tomando muestras del suelo contaminado en cinco puntos distintos del terreno (área de estudio) a una profundidad 10 cm cada una para luego ser llevadas al laboratorio para su respectivo análisis.

- **Segunda Etapa.-** En esta etapa se procedió a ejecutar el proceso de fitorremediación que conllevó un periodo de 5 meses. En este periodo de tiempo se procedió al acondicionamiento nutritivo del suelo para después proceder con la siembra de la planta endémica de kikuyo. Una vez sembrada la planta kikuyo esta fue regada entre una a dos veces por semana con agua potable.
  
- **Tercera Etapa.-** Una vez que la planta endémica kikuyo había crecido a una altura de 10 cm., se procedió a realizar la evaluación final respectiva, es decir, se procedió a realizarse el postest (10 de setiembre del año 2017), tomando muestras del suelo, nuevamente en cinco puntos distintos del terreno (área de estudio) a una profundidad 10 cm cada una para luego ser llevadas al laboratorio para su respectivo análisis.
  
- **Tiempo de la duración de la investigación.-** El estudio desarrollado tuvo una duración de 5 meses, tiempo que fue manejado adecuadamente por el investigador de acuerdo a sus intereses investigativos y disponibilidad.

## **3.2. Estudio de factibilidad**

### **3.2.1. Factibilidad técnica**

Se dispone de tratados de referencia como los estudios en donde se implementó la fitorremediación para la descontaminación de suelos con experiencia en Chile, Ecuador, y México. En ese sentido, la base del presente estudio está dada por el empleo de técnicas de investigación aceptadas y validas como la observación y el análisis en laboratorio, que han permitido realizar las mediciones respectivas del suelo antes y después de la fitorremediación para conocer sus efectos positivos sobre suelos contaminados en Saramarca.

### **3.2.2. Factibilidad operativa**

La fase operativa se ha realizado en un área determinada de la zona de Saramarca cedida para la realización de la investigación, en esta área fueron instalados los equipos para la adecuación del lugar, la manipulación y evaluación inicial o diagnostica del suelo contaminado. Luego de ello, en dicha área se acondiciono el proceso de fitorremediación con kikuyo por un determinado periodo de tiempo, para luego proceder nuevamente a la respectiva evaluación del suelo contaminado de la zona.

### **3.2.3. Factibilidad económica**

Los gastos que se han realizado en la investigación comprenden un gasto mínimo a razón de que el proceso de la fitorremediación con kikuyo ha sido elaborado e instalado artesanalmente; a ello hay que agregar que las mediciones realizadas se hicieron con instrumentos gestionados en calidad material para el estudio sin fines de lucro con lo que se reduce el gasto en cuanto al análisis del suelo y viáticos al lugar de la investigación donde asciende a 1200 soles.

### **3.2.4. Factibilidad legal**

El estudio se ampara en la siguiente normativa:

- Constitución Política del Perú - Título III, Capítulo II: Del Ambiente y .los Recursos Naturales (1193).
- Ley General del Ambiente (Ley 28611 del 15-10-2005).
- Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314 del 21-07-2000) y su reglamento (D.S. N° 057-2004-PCM del 24-07-2004)
- Ley Orgánica para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales (Ley N° 26821 del 26-06-1997).
- Ley sobre la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica (Ley N° 26839 del 08-07-1997)
- Ley General de Amparo al Patrimonio Cultural de la Nación (Ley N° 24047 del 05-01-1985 y sus modificatorias (Ley N° 24193 del 06-06-1985 y Ley N° 25644 del 27-07-1992).
- Ley de Evaluación de Impacto Ambiental para Obras y Actividades (Ley N° 26786 del 13-05-1997).
- Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (Ley N° 28245 del 04-06-2004 y su reglamento D.S. N° 008-2005-PCM del 28-01-2005)
- Ley de Áreas Naturales Protegidas (Ley N° 26834 del 30-07-1997).

### **3.3. Metodología**

La propuesta de solución desarrollada en el presente estudio se enmarca dentro de una propuesta de carácter científica que se sustenta en la metodología propia de la investigación, por lo tanto, la propuesta de solución se enmarca dentro del tipo aplicada ya que se ha empleado, en este caso, la fitorremediación con kikuyo para conseguir u obtener una descontaminación de los suelos impactados negativamente por los relaves mineros. De nivel explicativo, ya que se busca explicar la relación de causalidad de las variables de estudio (fitorremediación con la planta endémica kikuyo con la contaminación de los suelos afectos por los relaves

mineros). De método cuantitativo, ya que se ha empleado la medición numérica de las variables de estudio; y de diseño de investigación pre-experimental con pretest y posttest en donde la aplicación del estímulo experimental está dado por la fitorremediación con kikuyo que va producir ciertos efectos positivos en la mejora de la calidad del suelo de la zona de Saramarca.

## CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.1. Análisis de resultados

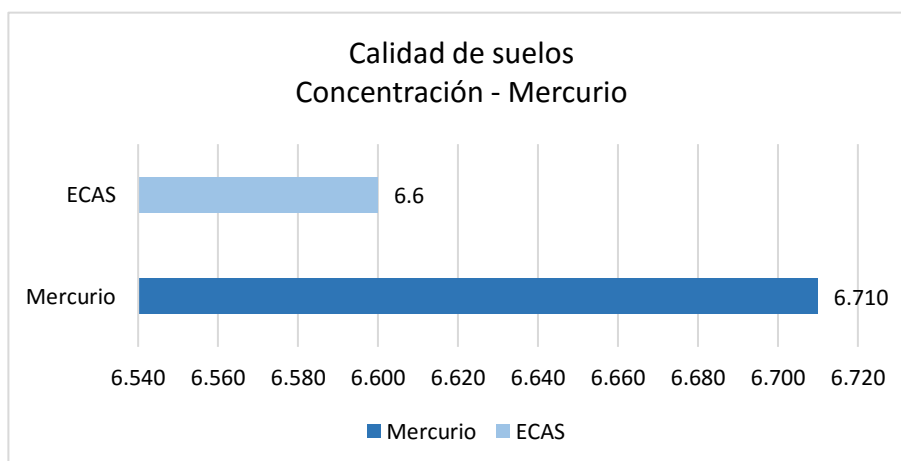
#### 4.1.1. Resultados obtenidos en el pretest

**Tabla N° 01: Suelo con concentración de mercurio**

Calidad de suelos Concentración - Mercurio	Valores
Mercurio	6,710
ECAS <sup>1</sup>	6,6

*Fuente: Datos obtenidos del análisis de laboratorio.*

**Gráfico N° 01: Suelo con concentración de mercurio**



### Interpretación

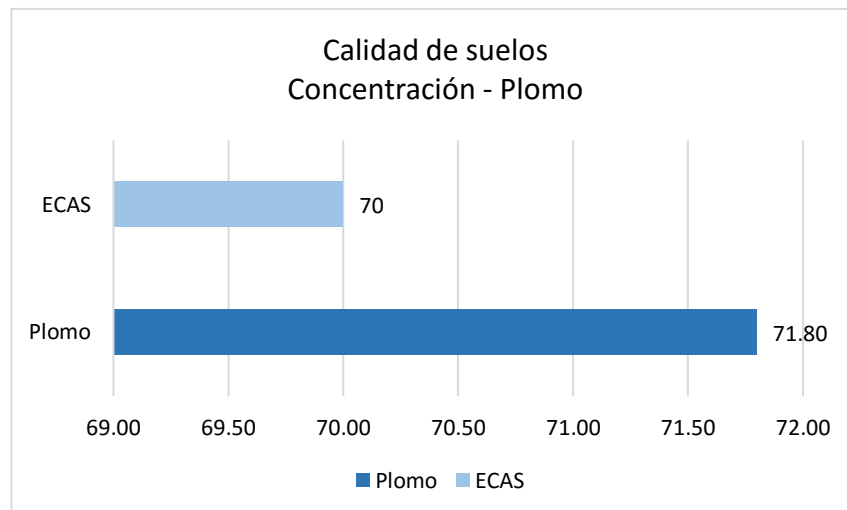
En la tabla N° 01 se observa que el mercurio se encuentra en un 6,710 nivel de concentración. Este nivel de concentración de mercurio nos indica que suelos del Centro Poblado de Samarca están contaminados con dicha sustancia, al superar la concentración de esta sustancia (mercurio) los estándares de Calidad Ambiental para Suelos.

**Tabla N° 02: Suelo con concentración de plomo**

Calidad de suelos Concentración - Plomo	Valores
Plomo	71,80
ECAS	70

*Fuente: Datos obtenidos del análisis de laboratorio.*

**Gráfico N° 02: Suelo con concentración de plomo**



### Interpretación

En la tabla N° 02 se observa que el plomo se encuentra en un 71,80 nivel de concentración. Este nivel de concentración de plomo nos indica que suelos del Centro Poblado de Samarca están contaminados con dicha sustancia, al superar la concentración de



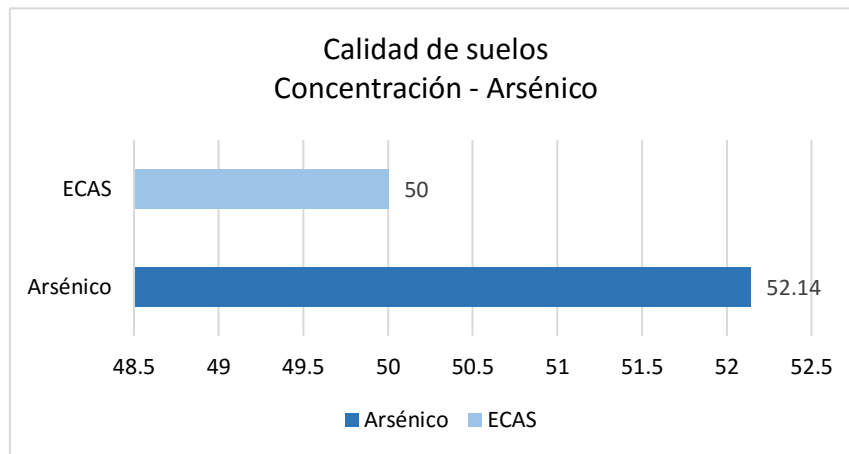
esta sustancia (plomo) los estándares de Calidad Ambiental para Suelos.

**Tabla N° 03: Suelo con concentración de arsénico**

Calidad de suelos Concentración - Arsénico	Valores
Arsénico	52,14
ECAS	50

*Fuente: Datos obtenidos del análisis de laboratorio.*

**Gráfico N° 03: Suelo con concentración de arsénico**



### Interpretación

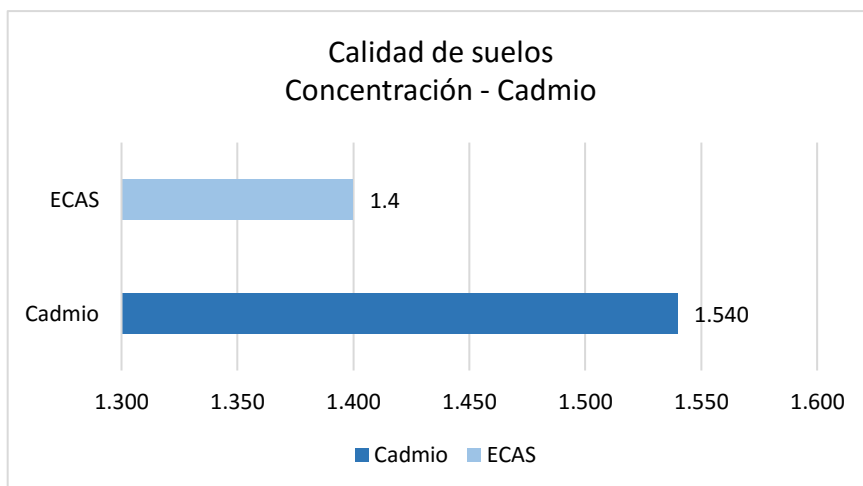
En la tabla N° 03 se observa que el arsénico se encuentra en un 52,14 nivel de concentración. Este nivel de concentración de arsénico nos indica que suelos del Centro Poblado de Saramarca están contaminados con dicha sustancia, al superar la concentración de esta sustancia (arsénico) los estándares de Calidad Ambiental para Suelos.

**Tabla N° 04: Suelo con concentración de cadmio**

Calidad de suelos Concentración - Cadmio	Valores
Cadmio	1,540
ECAS	1,4

*Fuente: Datos obtenidos del análisis de laboratorio.*

**Gráfico N° 04: Suelo con concentración de cadmio**



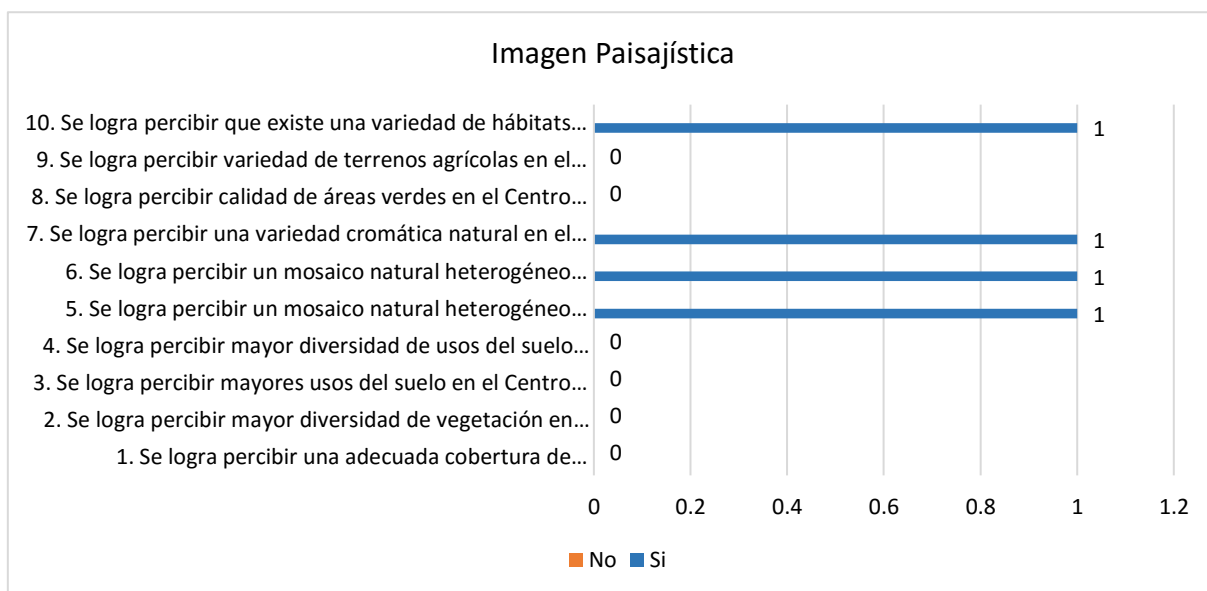
En la tabla N° 04 se observa que el cadmio se encuentra en un 1,540 nivel de concentración. Este nivel de concentración de cadmio nos indica que suelos del Centro Poblado de Saramarca están contaminados con dicha sustancia, al superar la concentración de esta sustancia (cadmio) los estándares de Calidad Ambiental para Suelos.

**Tabla N° 05: Imagen paisajística**

Imagen Paisajística	Si	No
1. Se logra percibir una adecuada cobertura de vegetación en el Centro Poblado de Saramarca.		0
2. Se logra percibir mayor diversidad de vegetación en el Centro Poblado de Saramarca.		0
3. Se logra percibir mayores usos del suelo en el Centro Poblado de Saramarca.		0
4. Se logra percibir mayor diversidad de usos del suelo en el Centro Poblado de Saramarca.		0
5. Se logra percibir un mosaico natural heterogéneo (flora) en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
6. Se logra percibir un mosaico natural heterogéneo (fauna) en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
7. Se logra percibir una variedad cromática natural en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
8. Se logra percibir calidad de áreas verdes en el Centro Poblado de Saramarca.		0
9. Se logra percibir variedad de terrenos agrícolas en el Centro Poblado de Saramarca.		0
10. Se logra percibir que existe una variedad de hábitats de importancia comunitaria en el Centro Poblado de Saramarca.	1	

Fuente: Datos obtenidos de la ficha de observación sobre la imagen paisajística.

**Gráfico N° 05: Imagen paisajística**



**Interpretación**

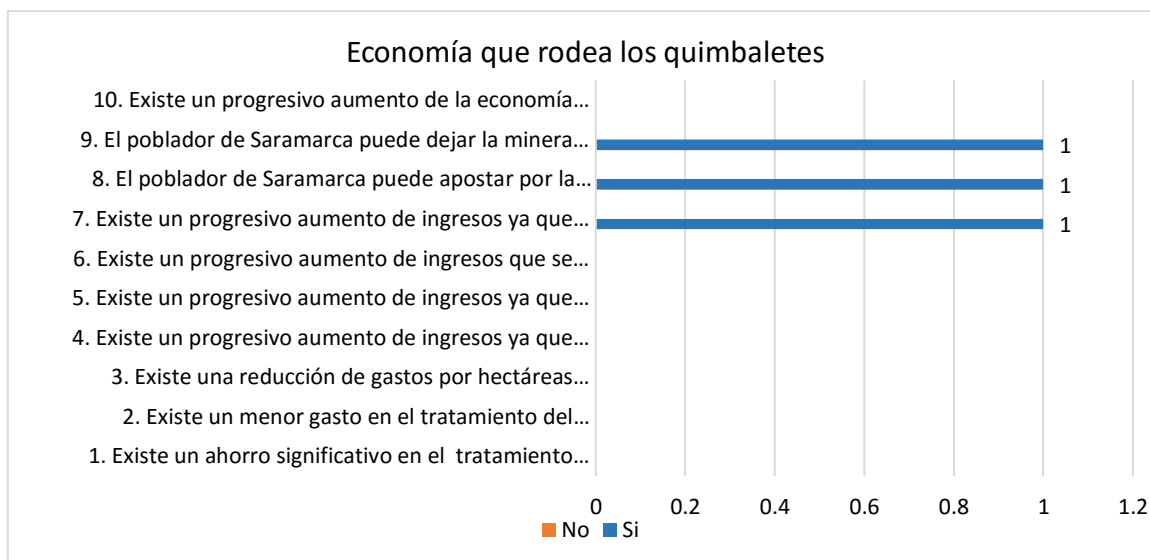
En la tabla N° 05 se observa que la imagen paisajística del Centro Poblado de Samarca está muy reducida toda vez que solo se logra percibir en dicho centro poblado un mosaico natural heterogéneo (flora), un mosaico natural heterogéneo (fauna), una variedad cromática natural y una variedad de hábitats de importancia comunitaria para la zona.

**Tabla N° 06: Economía que rodea los quimbaletes**

Economía que rodea los quimbaletes	Si	No
1. Existe un ahorro significativo en el tratamiento de la recuperación de suelos contaminados por los relaves mineros en el Centro Poblado de Samarca.		0
2. Existe un menor gasto en el tratamiento del suelo que ha sido contaminado por los relaves mineros en el Centro Poblado de Samarca.		0
3. Existe una reducción de gastos por hectáreas en el Centro Poblado de Samarca.		0
4. Existe un progresivo aumento de ingresos ya que la producción agrícola del Centro Poblado de Samarca viene creciendo.		0
5. Existe un progresivo aumento de ingresos ya que hay mayor cantidad o metraje de suelos disponibles para la agricultura en el Centro Poblado de Samarca.		0
6. Existe un progresivo aumento de ingresos que se fundamenta en mayor tierra para cultivo y mejores tipos de cultivos al año en el Centro Poblado de Samarca.		0
7. Existe un progresivo aumento de ingresos ya que las veces de periodos de siembra al año se vienen mejorando en el Centro Poblado de Samarca.	1	
8. El poblador de Samarca puede apostar por la agricultura al contar con mayor extensión de suelo.	1	
9. El poblador de Samarca puede dejar la minera y apostar por otras actividades productivas como la agricultura, ganadería o la pesca de camarones a fin de evitar seguir contaminando su entorno natural.	1	
10. Existe un progresivo aumento de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Samarca.	1	

Fuente: Datos obtenidos de la ficha de observación sobre la economía que rodea los quimbaletes.

**Gráfico N° 06: Economía que rodea los quimbaletes**



En la tabla N° 06 se observa que la economía que rodea los quimbaletes en el Centro Poblado de Saramarca está regular toda vez que solo se logra percibir que en dicho lugar existe un progresivo aumento de ingresos ya han aumentado las veces de periodos de siembra al año, ya que el poblador de Saramarca puede apostar por la agricultura, ya que el poblador de Saramarca puede dejar la minera y apostar por otras actividades productivas como la agricultura, ganadería o la pesca de camarones en dicha zona.

**Tabla N° 07: Resultados de análisis de caracterización del suelo**

**ANALISIS FISICO:**

Capacidad de campo (CC)%	28,00
Densidad aparente (Da)gr/cm <sup>3</sup>	1,27
Densidad real (Dr) gr/ cm <sup>3</sup>	2,18
Porosidad (P)%	40,98
Espacio Aéreo (Ea)%	27,95
Textura	
Arena %	58,20
Limo %	30,81
Arcilla %	Franco Arenosa

## ANALISIS QUIMICO:

PH	8,01
Carbonato de calcio total ( $CaCO_3$ )%	6,16
Conductividad Eléctrica (C.E)mm /am	3,80
Materia Orgánica (M.O) %	1,83
Cationes Cambiables :	
$Ca^{++}$ meq/1000 gr de suelo	3,02
$Mg^{++}$ meq/1000 gr de suelo	1,29
$K^+$ meq/1000 gr de suelo	1,42
$Na^+$ meq/1000 gr de suelo	1,06
$H^+$ meq/1000 gr de suelo	0,14
CIC meq/1000 gr de suelo	6,93
Porcentaje de saturación de sodio (PSS)	15,30

Fuente: Datos realizados por el ING: Guido Tenorio Palomino

### Interpretación

En la Tabla N° 14 se presenta el análisis de caracterización de suelo al que se le practica la Fitorremediación

El análisis físico-químico, revela que tiene una capacidad de campo a máxima retención de agua del 28%, resultado que se justifica con la clase textural que es Franco – Arenosa y el bajo contenido de M.O. La porosidad de 40,98% se encuentra dentro del rango óptimo para el crecimiento adecuado de la planta fitorremediadora el espacio aéreo de 27,95% indica que se trata de un suelo con una macro porosidad y aireación un poco elevada.

En cuanto a las determinaciones químicas, presenta un PH alcalino que es adverso a la movilidad y disponibilidad del Pb, el Cd y el Hg para la planta utilizada en la fitorremediación, debido a que estos metales pesados contaminantes son más móviles en los suelos a PH ácidos; sucede lo contrario con el AS que tiene mayor movilidad a PH alcalinos, esta diferencia se manifiesta claramente en la cantidad extraída por la planta de kikuyo que es de 2,50 Ppm superior a la extracción Hg, del Cd y del Pb (ver cuadro N° de extracción)

En lo referente a los niveles de la CIC y la M.O , es un suelo pobre en estos componentes lo cual repercute en baja neutralización o amortiguación de los metales pesados por lo tanto mayor riesgo , que estos contaminantes se movilizan hacia la profundidad del suelo y contaminen el acuífero subterráneo, agravando por la textura gruesa que tiene el suelo .

El PSS y la C.E, están cerca de convertirse en un suelo sódico y salino características que son desfavorables para la fitorremediación de suelos.

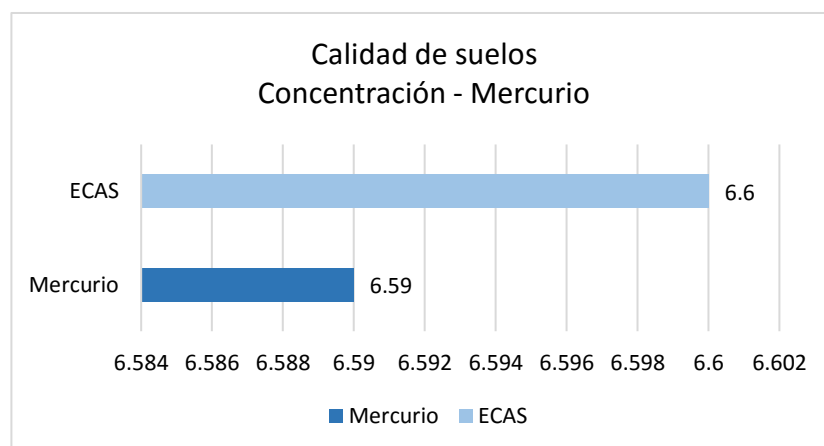
#### 4.1.2. Resultados obtenidos en el postest

**Tabla N° 08: Suelo con concentración de mercurio**

Calidad de suelos Concentración - Mercurio	Valores
Mercurio	6,59
ECAS	6,6

*Fuente: Datos obtenidos del análisis de laboratorio.*

**Gráfico N° 08: Suelo con concentración de mercurio**



#### Interpretación

En la tabla N° 08 se observa que el mercurio se encuentra en un 6,59 nivel de concentración menor a nivel 6,710 (pretest) en los suelos del Centro Poblado de Samarca. Es así que esta

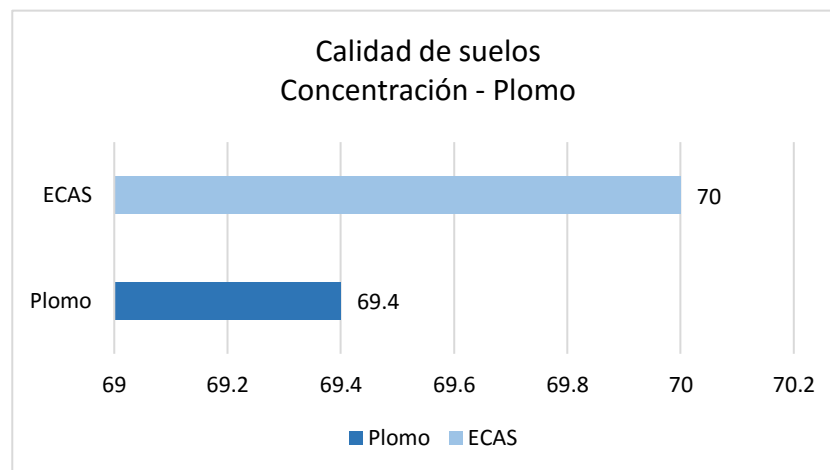
concentración de mercurio encontrada después de la fitorremediación en comparación con los estándares de Calidad Ambiental para Suelos se encuentra en un nivel inferior.

**Tabla N° 09: Suelo con concentración de plomo**

Calidad de suelos Concentración - Plomo	Valores
Plomo	69,4
ECAS	70

*Fuente: Datos obtenidos del análisis de laboratorio.*

**Gráfico N° 09: Suelo con concentración de plomo**



### Interpretación

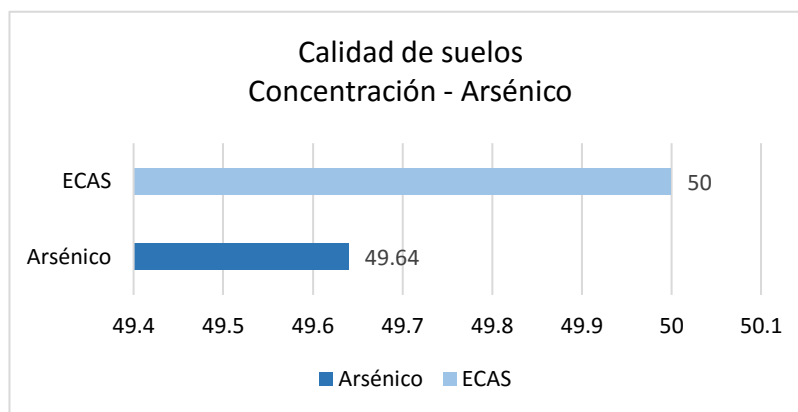
En la tabla N° 09 se observa que el plomo se encuentra en un 69,4 nivel de concentración menor a nivel 71,80 (pretest) en los suelos del Centro Poblado de Samarca. Es así que esta concentración de plomo encontrada después de la fitorremediación en comparación con los estándares de Calidad Ambiental para Suelos se encuentra en un nivel inferior.

**Tabla Nº 10: Suelo con concentración de arsénico**

Calidad de suelos Concentración - Arsénico	Valores
Arsénico	49,64
ECAS	50

*Fuente: Datos obtenidos del análisis de laboratorio.*

**Gráfico Nº 10: Suelo con concentración de arsénico**



**Interpretación**

En la tabla Nº 10 se observa que el arsénico se encuentra en un 49,64 nivel de concentración menor a nivel 52,14 (pretest) en los suelos del Centro Poblado de Samarca. Es así que esta concentración de arsénico encontrada después de la fitorremediación en comparación con los estándares de Calidad Ambiental para Suelos se encuentra en un nivel inferior.

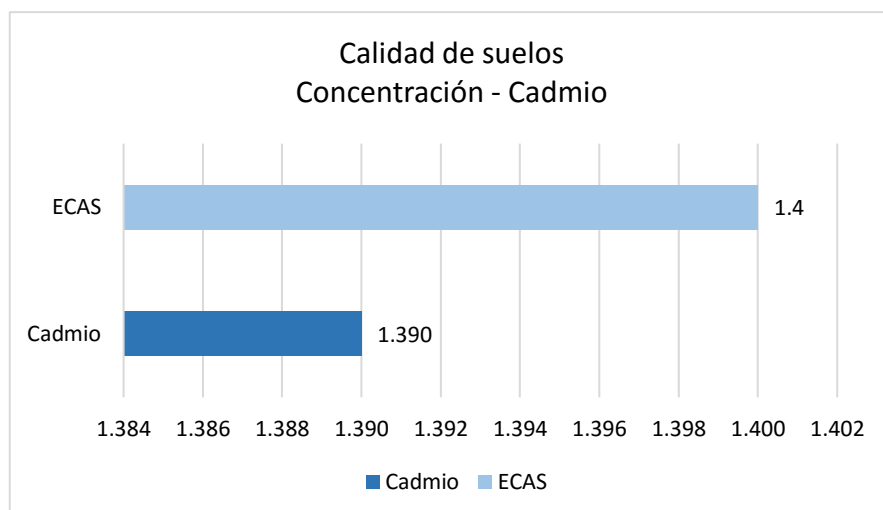
**Tabla Nº 11: Suelo con concentración de cadmio**

Calidad de suelos Concentración - Cadmio	Valores
Cadmio	1,390
ECAS	1,4

*Fuente: Datos obtenidos del análisis de laboratorio.*



**Gráfico N° 11: Suelo con concentración de cadmio**



**Interpretación**

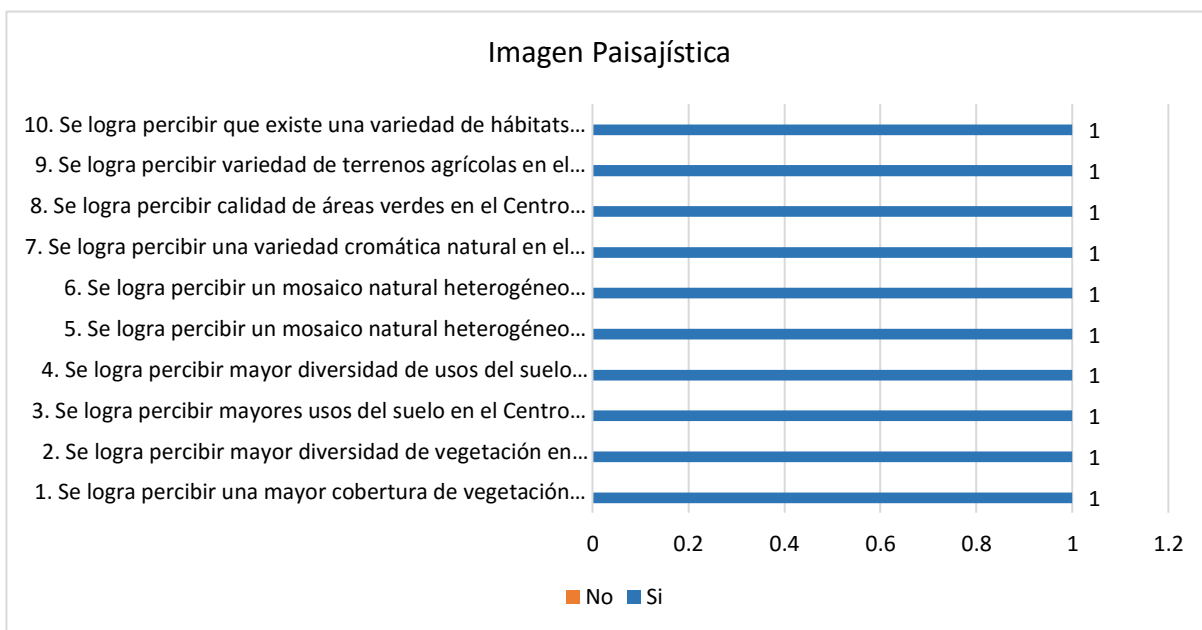
En la tabla N° 11 se observa que el cadmio se encuentra en un 1,390 nivel de concentración menor a nivel 1,540 (pretest) en los suelos del Centro Poblado de Saramarca. Es así que esta concentración de cadmio encontrada después de la fitorremediación en comparación con los estándares de Calidad Ambiental para Suelos se encuentra en un nivel inferior.

**Tabla N° 12: Imagen paisajística**

Imagen Paisajística	Si	No
1. Se logra percibir una adecuada cobertura de vegetación en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
2. Se logra percibir mayor diversidad de vegetación en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
3. Se logra percibir mayores usos del suelo en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
4. Se logra percibir mayor diversidad de usos del suelo en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
5. Se logra percibir un mosaico natural heterogéneo (flora) en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
6. Se logra percibir un mosaico natural heterogéneo (fauna) en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
7. Se logra percibir una variedad cromática natural en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
8. Se logra percibir calidad de áreas verdes en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
9. Se logra percibir variedad de terrenos agrícolas en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
10. Se logra percibir que existe una variedad de hábitats de importancia comunitaria en el Centro Poblado de Saramarca.	1	

Fuente: Datos obtenidos de la ficha de observación sobre la imagen paisajística.

**Gráfico N° 12: Imagen paisajística**



### Interpretación

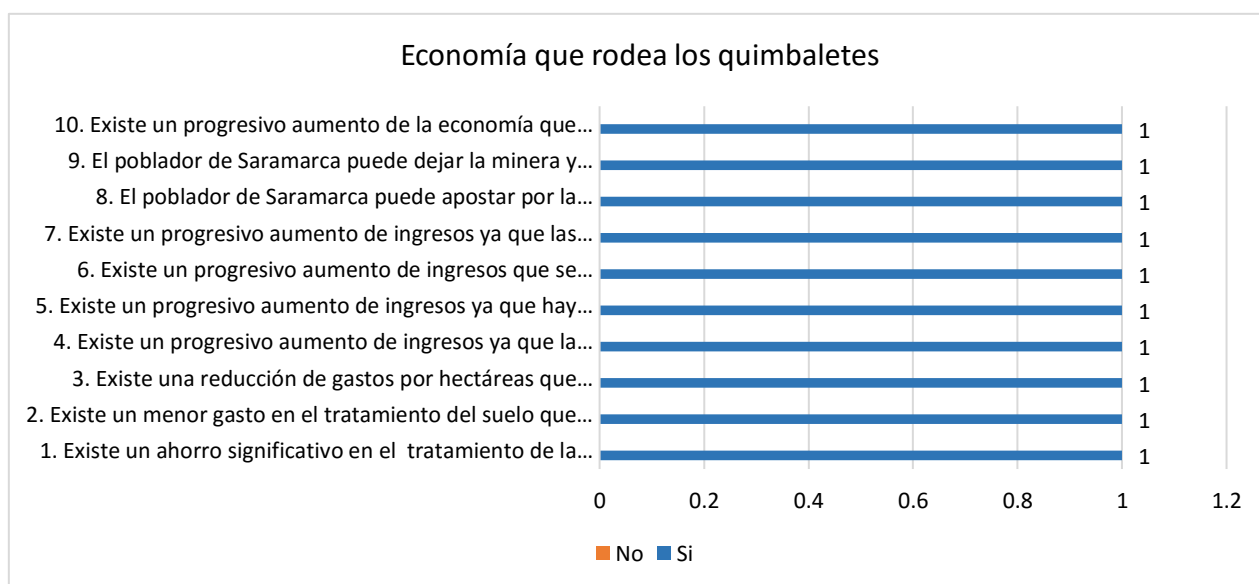
En la tabla N° 12 se observa que la imagen paisajística del Centro Poblado de Saramarca ha mejorado toda vez que solo se logra percibir que en dicho centro poblado existe una adecuada cobertura de vegetación, una mayor diversidad de vegetación, mayores usos del suelo, mayor diversidad de usos del suelo, un mosaico natural heterogéneo (flora), un mosaico natural heterogéneo (fauna), una variedad cromática natural, calidad de áreas verdes, variedad de terrenos agrícolas y una variedad de hábitats de importancia comunitaria en la zona.

**Tabla Nº 13: Economía que rodea los quimbaletes**

<b>Economía que rodea los quimbaletes</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
1. Existe un ahorro significativo en el tratamiento de la recuperación de suelos contaminados por los relaves mineros en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
2. Existe un menor gasto en el tratamiento del suelo que ha sido contaminado por los relaves mineros en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
3. Existe una reducción de gastos por hectáreas en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
4. Existe un progresivo aumento de ingresos ya que la producción agrícola del Centro Poblado de Saramarca viene creciendo	1	
5. Existe un progresivo aumento de ingresos ya que hay mayor cantidad o metraje de suelos disponibles para la agricultura en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
6. Existe un progresivo aumento de ingresos que se fundamenta en mayor tierra para cultivo y mejores tipos de cultivos al año en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
7. Existe un progresivo aumento de ingresos ya que las veces de periodos de siembra al año se vienen mejorando en el Centro Poblado de Saramarca.	1	
8. El poblador de Saramarca puede apostar por la agricultura al contar con mayor extensión de suelo.	1	
9. El poblador de Saramarca puede dejar la minera y apostar por otras actividades productivas como la agricultura, ganadería o la pesca de camarones a fin de evitar seguir contaminando su entorno natural.	1	
10. Existe un progresivo aumento de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca.	1	

*Fuente: Datos obtenidos de la ficha de observación sobre la economía que rodea los quimbaletes.*

**Gráfico Nº 13: Economía que rodea los quimbaletes**



## Interpretación

En la tabla N° 13 se observa que la economía que rodea los quimbaletes en el Centro Poblado de Saramarca ha mejorado toda vez que solo se logra percibir que en dicho lugar existe un ahorro significativo en el tratamiento de la recuperación de suelos contaminados por los relaves mineros, existe un menor gasto en el tratamiento del suelo contaminado, una reducción de gastos progresivo aumento de ingresos ya que la producción agrícola del Centro Poblado de Saramarca viene creciendo.

Asimismo, también se percibe que existe un progresivo aumento de ingresos ya que hay mayor cantidad o metraje de suelos disponibles para la agricultura, un progresivo aumento de ingresos que se fundamenta en mayor tierra para cultivo y mejores tipos de cultivos al año, un progresivo aumento de ingresos ya que las veces de periodos de siembra al año se vienen mejorando. También se percibe que el poblador de Saramarca puede apostar por la agricultura al contar con mayor extensión de suelo, que puede dejar la minera y apostar por otras actividades productivas como la agricultura, ganadería o la pesca de camarones a fin de evitar seguir contaminando su entorno natural.

## Resultados en la tabla N° 14 de investigación en el siguiente CUADRO (PPM)

ELEMENTO	PRETEST	POSTEST	ECA <sub>s</sub>	EXTRACCION
Hg	<b>6.71</b>	<b>6.59</b>	<b>6.6</b>	<b>0.11</b>
Pb	<b>71.80</b>	<b>69.40</b>	<b>70.0</b>	<b>2.40</b>
As	<b>52.14</b>	<b>49.64</b>	<b>50.0</b>	<b>2.50</b>
Cd	<b>1.54</b>	<b>1.39</b>	<b>1.4</b>	<b>0.15</b>

## 4.2. Prueba de hipótesis

### 4.2.1. Prueba de la hipótesis principal

La hipótesis principal sostiene:

La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la disminución de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

#### 1° Formulación de las hipótesis estadísticas

Ho:  $\rho=0$

No existe una disminución significativa de la contaminación de los suelos afectos por los relaves mineros como resultado de la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo en la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

Ha:  $\rho \neq 0$

Existe una disminución significativa de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros como resultado de la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo en la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

#### 2° Nivel de significancia

$\alpha = 0,05$  (prueba bilateral)

#### 3° Elección de la prueba estadística

Debido a que ( $n < 30$  y  $m < 30$ ),  $n = 5$  y  $m = 5$  (grupo experimental y grupo de control), se ha empleado la prueba de distribución t - student que tiene la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{X}_x - \bar{X}_y}{\sqrt{(n-1).S_x^2 + (m-1).S_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}}$$

#### 4º Cálculo de la prueba estadística

Cálculo del valor de  $t_c$ :

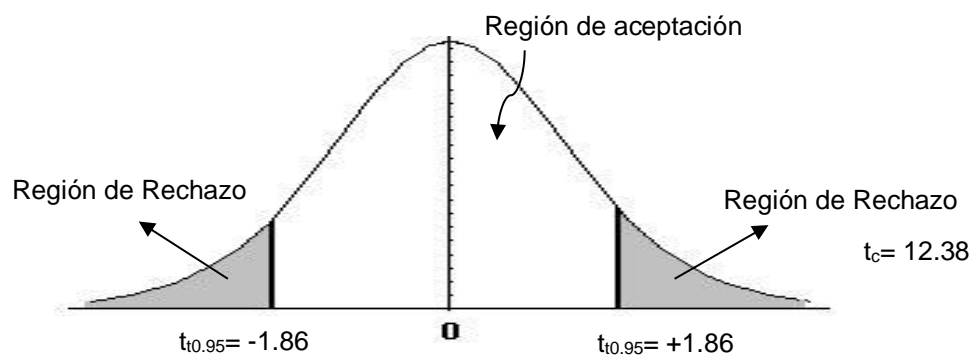
	Pretest	Postest
$\bar{x}$	$X_x = 139,190$	$X_y = 147,020$
Muestra	$n = 5$	$m = 5$
$S^2$	$S^2_x = 1$	$S^2_y = 1$

Ahora se reemplazan los datos en la fórmula y se obtiene:  $t_c = 12,38$

Se procede a ubicar el valor de t - student con  $n+m-2 = 8$  grados de libertad, hallando el siguiente valor de tabla:

$$T \text{ tabla} = T(1-\alpha/2; n+m-2) = T(0.95; 8) = \pm 1,86$$

Luego, se ubica el valor de la regla de student;  $t_c = 12,38$  en la distribución la cual se encuentra en la zona de aceptación.



#### 5º Toma de decisión

Como  $t_c = 12,38$  pertenece a la región de rechazo, se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , lo que permite afirmar que existen diferencias significativas en la disminución de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros en el pretest y postest a un nivel de confianza del 95% y significancia del 5%, es decir, que la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica

kikuyo influye significativamente en la disminución de la contaminación de los suelos afectos por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

#### **4.2.2. Prueba de la hipótesis secundaria N° 1**

La hipótesis secundaria N° 1 sostiene:

La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la recuperación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

##### **1° Formulación de las hipótesis estadísticas**

Ho:  $\rho=0$

No existe una recuperación significativa de los suelos afectados por los relaves mineros como resultado de la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo en la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

Ha:  $\rho \neq 0$

Existe una recuperación significativa de los suelos afectados por los relaves mineros como resultado de la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo en la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

##### **2° Nivel de significancia**

$\alpha = 0,05$  (prueba bilateral)

##### **3° Elección de la prueba estadística**

Debido a que ( $n < 30$  y  $m < 30$ ),  $n = 5$  y  $m = 5$  (grupo experimental y grupo de control), se ha empleado la prueba de distribución t - student que tiene la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{X}_x - \bar{X}_y}{\sqrt{(n-1).S_x^2 + (m-1).S_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}}$$

Al respecto, cabe mencionar que para contrastar esta hipótesis (hipótesis secundaria N° 1) vamos a contrastar los resultados obtenidos en el pretest con el posttest sobre los metales ya descritos en la estadística descriptiva.

### **Cálculo de la prueba estadística sobre el resultado del metal mercurio**

Cálculo del valor de  $t_c$ :

	<b>Pretest</b>	<b>Posttest</b>
$\bar{x}$	$X_x = 6,710$	$X_y = 6,59$
<b>Muestra</b>	$n = 5$	$m = 5$
<b>S<sup>2</sup></b>	$S_x^2 = 1$	$S_y^2 = 1$

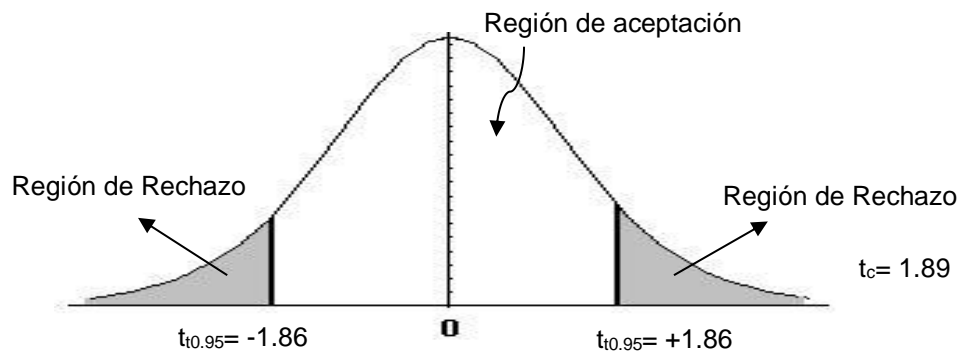
Ahora se reemplazan los datos en la fórmula y se obtiene:  $t_c = 1,89$

Se procede a ubicar el valor de t - student con  $n+m-2 = 8$  grados de libertad, hallando el siguiente valor de tabla:

$$T_{\text{tabla}} = T(1-\alpha/2; n+m-2) = T(0.95; 8) = \pm 1,86$$

Luego, se ubica el valor de la regla de student;  $t_c = 1,89$  en la distribución la cual se encuentra en la zona de aceptación.





### Toma de decisión sobre el particular

Como  $t_c = 1,89$  pertenece a la región de rechazo, se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , lo que permite afirmar que existen diferencias significativas en la recuperación de los suelos afectados por el mercurio en el pretest y postest a un nivel de confianza del 95% y significancia del 5%, es decir, la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la recuperación de los suelos afectados por el mercurio generado por los relaves mineros de la población de Sarmamarca en Palpa en el año 2017.

### Cálculo de la prueba estadística sobre el resultado del metal plomo

Cálculo del valor de  $t_c$ :

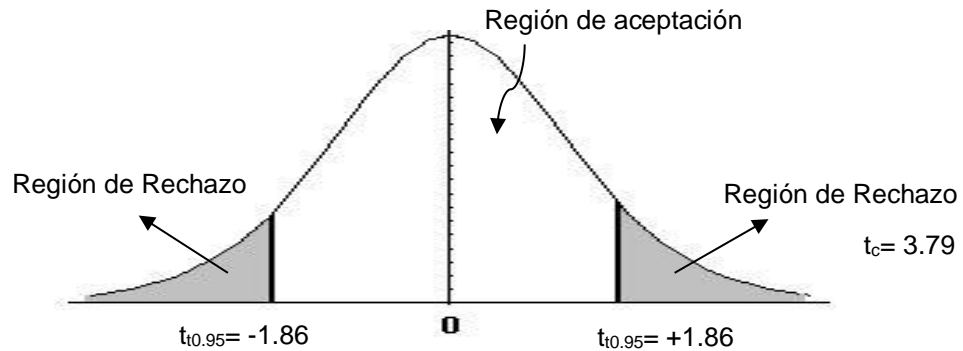
	Pretest	Postest
$\bar{x}$	$X_x = 71,80$	$X_y = 69,4$
<b>Muestra</b>	$n = 5$	$m = 5$
<b>S<sup>2</sup></b>	$S^2_x = 1$	$S^2_y = 1$

Ahora se reemplazan los datos en la fórmula y se obtiene:  $t_c = 3,79$

Se procede a ubicar el valor de t - student con  $n+m-2 = 8$  grados de libertad, hallando el siguiente valor de tabla:

$$T \text{ tabla} = T(1-\alpha/2; n+m-2) = T(0.95; 8) = \pm 1,86$$

Luego, se ubica el valor de la regla de student;  $t_c = 3,79$  en la distribución la cual se encuentra en la zona de aceptación.



### Toma de decisión sobre el particular

Como  $t_c = 3,79$  pertenece a la región de rechazo, se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , lo que permite afirmar que existen diferencias significativas en la recuperación de los suelos afectados por el plomo en el pretest y postest a un nivel de confianza del 95% y significancia del 5%, es decir, la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la recuperación de los suelos afectos por el plomo generado por los relaves mineros de la población de Samarca en Palpa en el año 2017.

### Cálculo de la prueba estadística sobre el resultado del metal arsénico

Cálculo del valor de  $t_c$ :

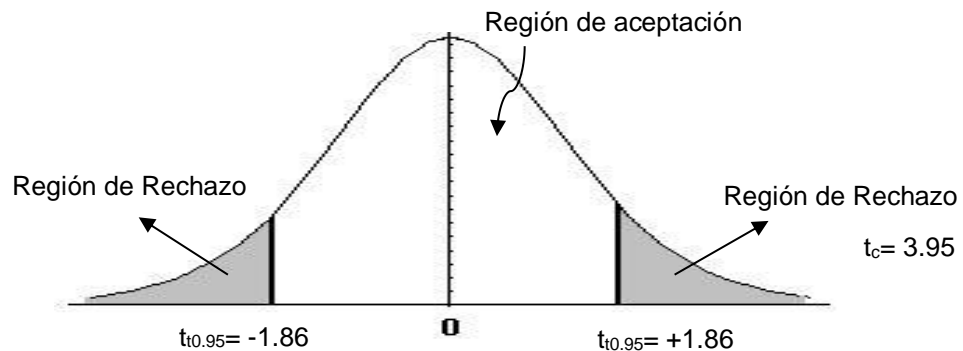
	Pretest	Postest
$\bar{x}$	$X_x = 52,14$	$X_y = 49,64$
<b>Muestra</b>	$n = 5$	$m = 5$
<b>S<sup>2</sup></b>	$S^2_x = 1$	$S^2_y = 1$

Ahora se reemplazan los datos en la fórmula y se obtiene:  $t_c= 3,95$

Se procede a ubicar el valor de t - student con  $n+m-2= 8$  grados de libertad, hallando el siguiente valor de tabla:

$$T \text{ tabla} = T(1-\alpha/2; n+m-2) = T(0.95; 8) = \pm 1,86$$

Luego, se ubica el valor de la regla de student;  $t_c= 3,95$  en la distribución la cual se encuentra en la zona de aceptación.



### Toma de decisión sobre el particular

Como  $t_c= 3,95$  pertenece a la región de rechazo, se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , lo que permite afirmar que existen diferencias significativas en la recuperación de los suelos afectados por los arsénico en el pretest y postest a un nivel de confianza del 95% y significancia del 5%, es decir, la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la recuperación de los suelos afectos por el arsénico generado por los relaves mineros de la población de Sarmarica en Palpa en el año 2017.

### Cálculo de la prueba estadística sobre el resultado del metal cadmio

Cálculo del valor de  $t_c$ :

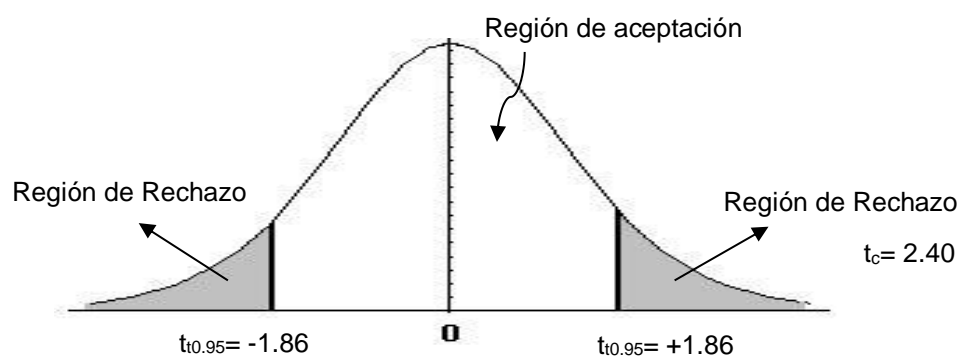
	Pretest	Posttest
$\bar{x}$	$X_x = 1,540$	$X_y = 1,390$
Muestra	$n = 5$	$m = 5$
$S^2$	$S^2_x = 1$	$S^2_y = 1$

Ahora se reemplazan los datos en la fórmula y se obtiene:  $t_c = 2,40$

Se procede a ubicar el valor de t - student con  $n+m-2 = 8$  grados de libertad, hallando el siguiente valor de tabla:

$$T \text{ tabla} = T(1-\alpha/2; n+m-2) = T(0.95; 8) = \pm 1,86$$

Luego, se ubica el valor de la regla de student;  $t_c = 2,40$  en la distribución la cual se encuentra en la zona de aceptación.



### Toma de decisión sobre el particular

Como  $t_c = 2,40$  pertenece a la región de rechazo, se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , lo que permite afirmar que existen diferencias significativas en la recuperación de los suelos afectados por el cadmio en el pretest y posttest a un nivel de confianza del 95% y significancia del 5%, es decir, la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la recuperación de los suelos afectados por el cadmio generado por los relaves mineros de la población de Samarca en Palpa en el año 2017.

### **Toma de decisión general**

Tomando en cuenta los resultados obtenidos sobre la presencia de los metales en el pretest y posttest, y los resultados de la contrastación de hipótesis, se está en condiciones de afirmar que la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la recuperación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017

#### **4.2.3. Prueba de la hipótesis secundaria N° 2**

La hipótesis secundaria N° 2 sostiene:

La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la mejora de la imagen paisajística de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

#### **1° Formulación de las hipótesis estadísticas**

Ho:  $\rho=0$

No existe significativa mejora de la imagen paisajística significativa de los suelos afectos por los relaves mineros como resultado de la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo en la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

Ha:  $\rho\neq 0$

Existe una significativa mejora de la imagen paisajística significativa de los suelos afectos por los relaves mineros como resultado de la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo en la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

## 2° Nivel de significancia

$\alpha = 0,05$  (prueba bilateral)

## 3° Elección de la prueba estadística

Debido a que ( $n < 30$  y  $m < 30$ ),  $n = 5$  y  $m = 5$  (grupo experimental y grupo de control), se ha empleado la prueba de distribución t - student que tiene la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{X}_x - \bar{X}_y}{\sqrt{(n-1).S_x^2 + (m-1).S_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}}$$

## 3° Cálculo de la prueba estadística

Cálculo del valor de  $t_c$ :

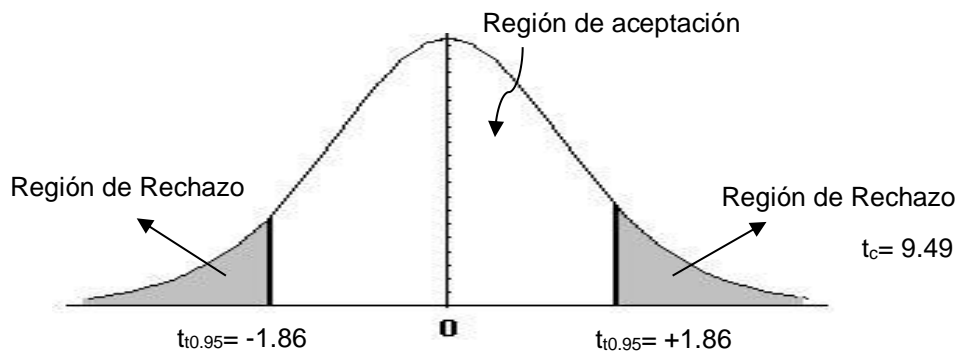
	<b>Pretest</b>	<b>Posttest</b>
$\bar{x}$	$X_x = 4$	$X_y = 10$
<b>Muestra</b>	$n = 5$	$m = 5$
<b>S<sup>2</sup></b>	$S_x^2 = 1$	$S_y^2 = 1$

Ahora se reemplazan los datos en la fórmula y se obtiene:  $t_c = 9,49$

Se procede a ubicar el valor de t - student con  $n+m-2 = 8$  grados de libertad, hallando el siguiente valor de tabla:

T tabla =  $T(1-\alpha/2; n+m-2) = T(0.95; 8) = \pm 1,86$

Luego, se ubica el valor de la regla de student;  $t_c = 9,49$  en la distribución la cual se encuentra en la zona de aceptación.



### Toma de decisión

Como  $t_c = 9,49$  pertenece a la región de rechazo, se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , lo que permite afirmar que existen diferencias significativas en la imagen paisajística en el pretest y postest a un nivel de confianza del 95% y significancia del 5%, es decir, la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la mejora de la imagen paisajística de la población de Sarmamarca en Palpa en el año 2017.

#### 4.2.4. Prueba de la hipótesis secundaria N° 3

La hipótesis secundaria N° 3 sostiene:

La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la mejora de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Sarmamarca en Palpa en el año 2017.

##### 1° Formulación de las hipótesis estadísticas

$H_0: \rho = 0$

No existe una significativa mejora de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros como resultado de la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo en la población de Sarmamarca en Palpa en el año 2017.

$H_a: \rho \neq 0$

Existe una significativa mejora de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros como resultado de la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo en la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

## 2° Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05 \text{ (prueba bilateral)}$$

## 3° Elección de la prueba estadística

Debido a que ( $n < 30$  y  $m < 30$ ),  $n = 5$  y  $m = 5$  (grupo experimental y grupo de control), se ha empleado la prueba de distribución t - student que tiene la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{X}_x - \bar{X}_y}{\sqrt{(n-1).S_x^2 + (m-1).S_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}}$$

## 3° Cálculo de la prueba estadística

Cálculo del valor de  $t_c$ :

	<b>Pretest</b>	<b>Posttest</b>
$\bar{x}$	$X_x = 3$	$X_y = 10$
<b>Muestra</b>	$n = 5$	$m = 5$
<b>S<sup>2</sup></b>	$S_x^2 = 1$	$S_y^2 = 1$

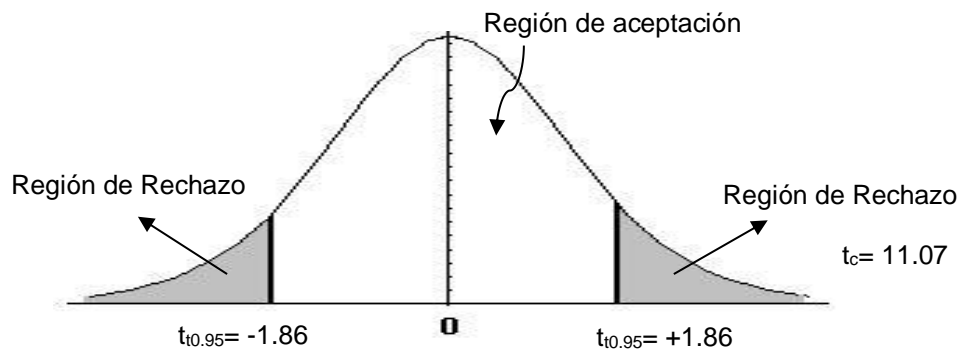
Ahora se reemplazan los datos en la fórmula y se obtiene:  $t_c = 11,07$

Se procede a ubicar el valor de t - student con  $n+m-2 = 8$  grados de libertad, hallando el siguiente valor de tabla:

$$T \text{ tabla} = T(1-\alpha/2; n+m-2) = T(0.95; 8) = \pm 1,86$$

Luego, se ubica el valor de la regla de student;  $t_c = 11,07$  en la distribución la cual se encuentra en la zona de aceptación.





### Toma de decisión

Como  $t_c = 11,07$  pertenece a la región de rechazo, se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , lo que permite afirmar que existen diferencias significativas en la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros en el pretest y postest a un nivel de confianza del 95% y significancia del 5%, es decir, la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la mejora de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- 1 Primera** En base a los resultados obtenidos se ha logrado demostrar que la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la disminución de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Samarca en Palpa en el año 2017, ello queda confirmado al haberse disminuido la presencia de contaminantes (metales), mejora de la imagen paisajística y de la economía en el postest.
  
- 2 Segunda** En base a los resultados obtenidos se ha logrado demostrar que la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la recuperación los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Samarca en Palpa en el año 2017, ello queda confirmado al haberse disminuido la presencia de metales contaminantes y mejorado la calidad del suelo en el postest.
  
- 3 Tercera** En base a los resultados obtenidos se ha logrado demostrar que la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la imagen paisajística de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Samarca en Palpa en el año 2017, ello queda confirmado al haberse mejorado la imagen paisajística de los suelos afectados en el postest.
  
- 4 Cuarta** En base a los resultados obtenidos se ha logrado demostrar que la aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la mejora de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Samarca en Palpa en el año 2017, ello queda confirmado al haberse mejorado la economía del sector en el postest.

## RECOMENDACIONES

- 1 Primera** Se debe utilizar plantas endémicas de la zona Saramarca como el kikuyo como fuente de remediación para suelos contaminados con metales contaminantes como el mercurio, plomo, arsénico y cadmio, metales que son generados por la actividad minera y que llegan a los suelos de la zona a través de relaves.
  
- 2 Segunda** Partiendo del hecho de que la utilización de la planta endémica de la zona Saramarca kikuyo importa una tecnología de bajo costo y de fácil manejo, se recomienda su utilización para mejorar la resiliencia del suelo.
  
- 3 Tercera** Se debe realizar aplicar planta endémica de la zona Saramarca kikuyo con otros metales pesados a fin de determinar si esta planta endémica pueden usarse para fitorremediar suelos con contaminación polimetálica.
  
- 4 Cuarta** Se debe organizar charlas y campañas a la población de Saramarca sobre prácticas del cuidado del medio ambiente, dándoles a conocer los peligros que se podrían presentar en la salud y, así como en la flora y fauna de la zona si es que se continúa contaminado los suelos con los relaves dejados por la minería artesanal que abunda en la zona.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Adriano D. (2001). Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5>.
2. Alkorta I. (2004). Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc and cadmium and arsenic. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology* 3: 71-90.
3. Alloway, B. (1995). Chapter 2: Soil process and the behavior of the heavy metals. In: Alloway, B.J. (ed.). Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional, London, 2nd edition. pp.11-37.
4. Alvarez, E. (2003). *Heavy metals in the dump of an abandoned mine in Galicia*. Obtenido de <http://www.ibader.gal/archivos/docs/Alvarez-2003-Heavy%20metals%20in%20the%20dump%20of%20an%20abandoned%20mine%20in%20Galicia.pdf>
5. Baldwin, P. y Butcher, D. (2007). Phytoremediation of arsenic by two hyperaccumulators in a hydroponic environment. *Microchemical Journal*, 85, 297–300.
6. Baker A. (1990). The influence of cadmium, copper, lead and zinc on the distribution and evolution of metallophytes in the British Isles. *Plant Systematics and Evolution*, 173: 91–108. .
7. Barid, C. (2010). *Química ambiental*. Madrid, España: Reverté S.A.
8. Basta, N. y Tabatabai, M. (1992). Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils: II. Effect of pH. *Soil Science*, 153: 195–204.
9. Becerril J. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas* 16 (2): 50-55.
10. Benitez, A. (1980). *Pastos y forrajes*. Quito, Ecuador: Editorial Universitaria.

11. Buendía, H. (2012). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
12. Bottani, E.; Odetti, H.; Pliego, O. y Villarreal, E. (2006). *Química general*. Argentina: Universidad Nacional del Litoral
13. Carrasco, S. (2006). *Metodología de la Investigación científica*. Lima, Perú: San Marcos.
14. Chávez, L. (2014). *Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo*. Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
15. Comisión de las Comunidades Europeas (2006). *Estrategia temática para la protección del suelo*. COM 231.
16. De la torre, L.; Navarrete, H.; Muriel, P.; Macia, M. y Balslev, H. (2008). *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador*. Quito-Aarhus: Herbario QCA de la escuela de ciencias biológicas de la PUCE y Herbario AAU del departamento de ciencias biológicas de la universidad de AARHUS.
17. Díez, F. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados. Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas*. Tesis doctoral, de la Universidad Santiago de Compostela, España.
18. Dugarte, M., y Ovalles, L. (1991). *La producción de pastos de altura. Kikuyo y Ryegrass perenne en el estado Mérida*. Obtenido de [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/FonaiapDivulga/fd36/texto/produccionpastos.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd36/texto/produccionpastos.htm)
19. Eapen, S. y D'Souza, S. (2005). Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals. *Biotechnology Advances*, 23(2), 97-114.
20. Ghosh, M. y Singh, S. (2005) A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*. Gómez A, Villalba A, Castañeda M. Metales pesados en el agua superficial del Río San Pedro durante 1997 y 1999. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2004; 20: 5-12.

21. Hernández, T. (2004). *Sembrar sin arar. Cultivos de leguminosas, pastos y otras especies sobre praderas de kikuyo con cero labranza*. Quito, Ecuador: Cámara Ecuatoriana del Libro.
22. Izquierdo, J.; Cunill, F.; Tejero, J.; Iborra, M. y Fité, C. (2004). *Cinética de las reacciones químicas*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
23. Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. CRC Press, -Boca Raton, USA.
24. Krishnamurti, G., Cieslinski, G., Huang, P. y Van Rees, K. (1997). Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids: Implication in cadmium availability. *Journal of Environmental Quality*, 26: 271–277.
25. López, M. (2009). *Distribución y fitodisponibilidad de metales pesados (Sb, Hg, As) en los jales de la mina de antimonio de Wadley, estado de San Luis Potosí*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de México, Ciudad de México D.F., México.
26. López, P. (2011). *Fitorremediación en los suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí - Lima*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
27. Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid: Diaz de Santos.
28. McBride, M., S. Sauve, and W. Hendershot. (1997). Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*. 48: 337-346.
29. Naidu, R. Oliver, D. y McConnell, S. (2003). Heavy metal phytotoxicity in soils. In: Proceedings of the fifth national workshop on the assessment of site contamination. Ed. Langley A., M. Gilbey and B. Kennedy. National Environment Protection Council (NEPC) Australia. pp. 235-241.
30. Osorio, D., y Roldan, J. (2006). *Volvamos al campo. Cultivo de pastos y forrajes*. Colombia: Grupo Latino.
31. Palta, G. y Morales, S. (2012). *Fitodepuración de aguas residuales domésticas con poaceas: brachiaria mutica, pennisetum purpureum y*

- panicum maximun en el municipio de Popayán, Cauca.* Tesis de titulación, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
32. Pereira, A. (2012). Heavy metals concentration in tree species used for revegetation of contaminated area, *Revista Ciencia Agronómica*, 43(4), 641-647
  33. Ramírez, T. (2016). *Cómo hacer un proyecto de investigación*. Caracas: Panapo.
  34. Riechaman M.S. (2002). The responses of plants to metals toxicity: A review focusing on copper, manganese and zinc. Australian Minerals and Energy Environment Foundation.
  35. Reuer, M.; Brower, N.; Koball, J.; Hinostroza, E.; De la Torre, M.; Hurtado, J.; Echevarria, S. (2012). *Lead, Arsenic, and Cadmium Contamination and Its Impact on Children's Health in La Oroya, Peru*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.5402/2012/231458>.
  36. Rieuwerts J.S., Thonton I., Farago M.E and Ashmore M.R. (1998). Factors influencing metals bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 10(2): 61- 75.
  37. Romero, J. (2000). *Purificación del agua*. Bogotá: Nomos.
  38. Salt, D., Smith, R., Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology*, 49, 643-668.
  39. Saxena, P. (1999). *Phytoremediation of heavy metal contaminated and polluted soil*. New York: Heavy Metal Stress in plants from Molecules to Ecosystem.
  40. Seoanez, M. (2004). *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*. Madrid: Mundi Prensa.
  41. Silos, J. (2008). *Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos*. España: Universidad de Cádiz.
  42. Silveira M. Alleoni, R. y Guilherme, L. (2003). Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola* 60 (4): 793-806.

43. Singh, R. y Chhibba, M. (2010). Chelate-assisted phytoextraction of cadmium and lead using mustard and fenugreek. *Communications in soil science and plant analysis*. 41:2131–2142.
44. Sierra, R. (2010). *Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial*. Coahuila, México.
45. Toledo, K. (2012). *Aplicación de Procesos Biológicos como medida Remediación para recuperar suelos Limo-Arcillosos contaminados con Gasolina*. Tesis de titulación, Universidad Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
46. Vara, A. (2012). *Desde La Idea hasta la sustentación: Siete pasos para una tesis exitosa. Un método efectivo para las ciencias empresariales*. Lima, Perú: Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos de la USMP.
47. Weber, W. (1979). *Control de calidad del agua: procesos fisico-químicos*. Barcelona: Reverté.
48. Wong M. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50: 775-780. Obtenido de [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00232-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00232-1).
49. Young, K.; León, B. y Cano, A. (1997). Peruvian Puna. In S. D. Davis, V. H. Heywood, O. Herrera-Macbride, The Americas. The World Wide Fund and IUCN-The World Conservation Union. 470-476.



## **ANEXOS**

## ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

**Título:** Fitorremediación de suelos afectados por relaves mineros a través de plantas endémicas kikuyo (*pennisetum clandestinum*) y su influencia ambiental en la población de Saramarca - Palpa - Ica 2017.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>Problema Principal</b> ¿De qué manera la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la disminución de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017?</p> <p><b>Problemas Secundarios</b> <b>P.E.1</b> ¿De qué manera la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la recuperación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017? <b>P.E.2</b> ¿De qué manera la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la imagen paisajística de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017? <b>P.E.3</b> ¿De qué manera la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la disminución de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> <b>O.E.1</b> Demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la recuperación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017. <b>O.E.2</b> Demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la imagen paisajística de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017. <b>O.E.3</b> Demostrar que la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye en la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.</p>	<p><b>Hipótesis Principal</b> La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la disminución de la contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.</p> <p><b>Hipótesis Secundarios</b> <b>H.E.1</b> La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la recuperación de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017. <b>H.E.2</b> La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la mejora de la imagen paisajística de los suelos afectados por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017. <b>H.E.3</b> La aplicación de la fitorremediación con la planta endémica kikuyo influye significativamente en la mejora de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017.</p>	<p>Variable X: Fitorremediación con planta endémica kikuyo: IX1: Disminución de color rojiza por la presencia del contaminante relaves mineros. IX2: Presencia de plantas. IX3: Ahorro en tratamiento de recuperación de suelos contaminados.</p> <hr/> <p>Variable Y: Contaminación de los suelos afectados por los relaves mineros Dimensiones: IY1: Suelos de tonalidad color rojiza debido a los contaminantes de relaves mineros. IY2: Falta de forestación paisajística. IY3: Gastos por hectáreas</p>	<p><b>Tipo:</b> Investigación de tipo aplicada. <b>Nivel:</b> Investigación de nivel explicativo. <b>Método:</b> El método empleado es el cuantitativo. <b>Diseño:</b> Experimental de naturaleza pre-experimental.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <b>G.E.: 0<sub>1</sub> X 0<sub>2</sub></b> </div> <p><b>Población:</b> Está conformada por todos los pasivos ambientales que se encuentran en el suelo de Saramarca. <b>Muestra:</b> Se tomaron muestras de suelos; en este caso se tomó muestras en cinco puntos distintos del terreno. Asimismo cabe mencionar que al muestreo del suelo se hizo previamente el reconocimiento del sitio. <b>Técnicas:</b> Se utilizó el análisis de laboratorio, la observación y el fichaje. <b>Instrumento:</b> Se empleó muestras de suelos, ficha de observación y el fichaje. <b>Técnicas de procesamiento y análisis de datos:</b> Se empleó la clasificación, codificación, calificación, tabulación estadística e interpretación de los datos. <b>Prueba de hipótesis:</b> Se ha empleado el estadístico t-student de comparación de medias aritméticas.</p>

## ANEXO 02: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

### FICHA DE OBSERVACIÓN PARA MEDIR LA IMAGEN PAISAJÍSTICA DE LOS SUELOS AFECTOS POR LOS RELAVES MINEROS DE LA POBLACIÓN DE SARAMARCA

Localidad:.....

Fecha:../...../.....

Circunstancias en que se dio la observación:.....  
.....  
.....

Nº	ÍTEM	ALTERNATIVAS	
		Si	No
1.	Se logra percibir una adecuada cobertura de vegetación en el Centro Poblado de Saramarca.		
2.	Se logra percibir mayor diversidad de vegetación en el Centro Poblado de Saramarca.		
3.	Se logra percibir mayores usos del suelo en el Centro Poblado de Saramarca.		
4.	Se logra percibir mayor diversidad de usos del suelo en el Centro Poblado de Saramarca.		
5.	Se logra percibir un mosaico natural heterogéneo (flora) en el Centro Poblado de Saramarca.		
6.	Se logra percibir un mosaico natural heterogéneo (fauna) en el Centro Poblado de Saramarca.		
7.	Se logra percibir una variedad cromática natural en el Centro Poblado de Saramarca.		
8.	Se logra percibir calidad de áreas verdes en el Centro Poblado de Saramarca.		
9.	Se logra percibir variedad de terrenos agrícolas en el Centro Poblado de Saramarca.		
10.	Se logra percibir que existe una variedad de hábitats de importancia comunitaria en el Centro Poblado de Saramarca.		
<b>SUBTOTAL</b>			
<b>TOTAL</b>			

Leyenda: No = 0; Si = 1

**FICHA DE OBSERVACIÓN PARA MEDIR LA ECONOMÍA QUE RODEA LOS  
QUIMBALETES EN LOS RELAVES MINEROS DE LA POBLACIÓN DE  
SARAMARCA**

Localidad:.....

Fecha:../...../.....

Circunstancias en que se dio la observación:.....

.....

.....

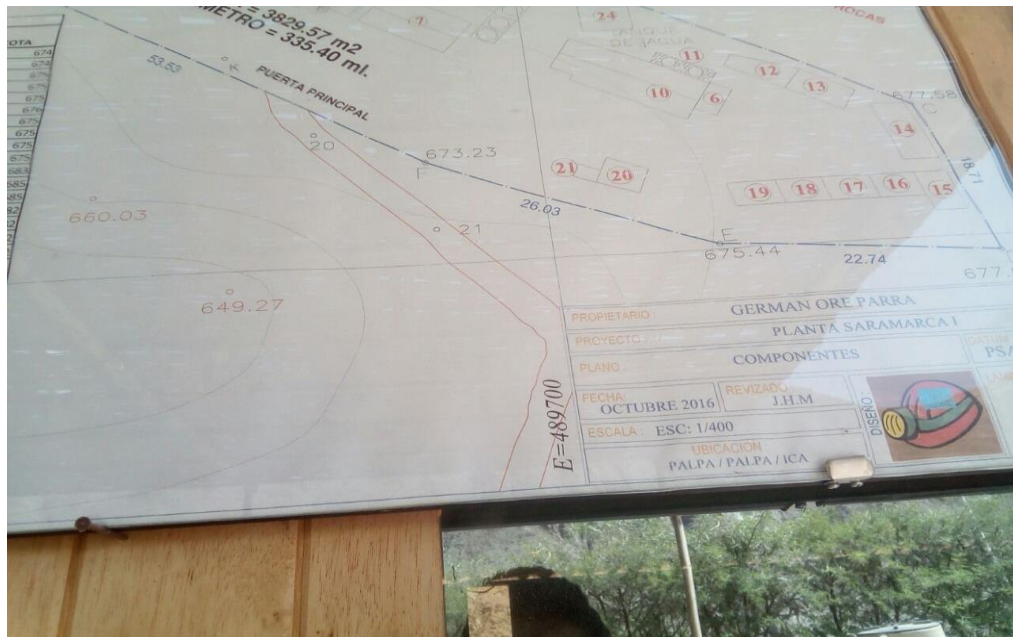
Nº	ÍTEM	ALTERNATIVAS	
		Si	No
1.	Existe un ahorro significativo en el tratamiento de la recuperación de suelos contaminados por los relaves mineros en el Centro Poblado de Saramarca.		
2.	Existe un menor gasto en el tratamiento del suelo que ha sido contaminado por los relaves mineros en el Centro Poblado de Saramarca.		
3.	Existe una reducción de gastos por hectáreas en el Centro Poblado de Saramarca.		
4.	Existe un progresivo aumento de ingresos ya que la producción agrícola del Centro Poblado de Saramarca viene creciendo.		
5.	Existe un progresivo aumento de ingresos ya que hay mayor cantidad o metraje de suelos disponibles para la agricultura en el Centro Poblado de Saramarca.		
6.	Existe un progresivo aumento de ingresos que se fundamenta en mayor tierra para cultivo y mejores tipos de cultivos al año en el Centro Poblado de Saramarca.		
7.	Existe un progresivo aumento de ingresos ya que las veces de periodos de siembra al año se vienen mejorando en el Centro Poblado de Saramarca.		
8	El poblador de Saramarca puede apostar por la agricultura al contar con mayor extensión de suelo.		
9.	El poblador de Saramarca puede dejar la minera y apostar por otras actividades productivas como la agricultura, ganadería o la pesca de camarones a fin de evitar seguir contaminando su entorno natural.		
10.	Existe un progresivo aumento de la economía que rodea los quimbaletes en los relaves mineros de la población de Saramarca.		
	<b>SUBTOTAL</b>		
	<b>TOTAL</b>		

Leyenda: No = 0; Si = 1

### ANEXO 03: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



I.E. N° 2243 del Poblado de Saramarca del distrito y provincia de Palpa en el departamento de Ica.



Mapa de la Planta Saramarca ubicada en el Centro Poblado que lleva su mismo nombre.



El investigador, Euler Huamani Alegría, en la zona de desarrollo de la investigación (centro poblado de Samarca).



Lugar donde se desarrolla la minería artesanal en Samarca.



Planta donde se procesa el oro en Sarmarca.



Lugar donde se desarrolla la minería artesanal en Sarmarca.



Lugar donde se desarrolla la minería artesanal en Sarmarca.



El investigador Euler Huamani Alegría señalando el área de terreno (3 m. x 2 m.) en el que se desarrolló del estudio.





Crecimiento de la planta kikuyo en el área de terreno en donde se desarrolló el estudio (Saramarca).



Crecimiento progresivo de la planta kikuyo en el área de terreno en donde se desarrolló el estudio (Saramarca).



I.E.N°2243 del Poblado de Sarmamarca del distrito y provincia de Palpa en el departamento de Ica.



Sistema donde se quema el oro si está expuesto al medio ambiente