

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE
METALES PESADOS CON LA PLANTA YALUZAI (Senecio
rudbeckiaefolius) EN LA RELAVERA DE QUIULACOCHA DEL
DISTRITO DE SIMÓN BOLÍVAR DE RANCAS”**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

BACH. PAPUICO HUAYTA, Karito Zulma

Cerro de Pasco - Perú - 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



“TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE METALES PESADOS CON LA PLANTA YALUZAI (Senecio rudbeckiaefolius) EN LA RELAVERA DE QUIULACOGCHA DEL DISTRITO DE SIMÓN BOLÍVAR DE RANCAS”

TESIS

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

Presentado por:

BACH. PAPUICO HUAYTA, Karito Zulma

SUSTENTADO Y APROBADO POR LA COMISIÓN DE JURADOS

**Mg. Julio ASTO LIÑAN
PRESIDENTE**

**Mg. David Jhonny CUYUBAMBA ZEVALLOS
MIEMBRO**

**Mg. Luis Alberto PACHECO
MIEMBRO**

ASESOR: Mg. LUCIO ROJAS VITOR

PASCO – PERÚ - 2018

DEDICATORIA

A mis padres

RESUMEN

En cumplimiento con el Reglamento de Grados y Títulos de la facultad de Ingeniería de nuestra “Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión”, me permito a presentar la Tesis Intitulada **“TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE METALES PESADOS CON LA PLANTA YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) EN LA RELAVERA DE QUIULACOCHA DEL DISTRITO DE SIMÓN BOLÍVAR DE RANCAS”** con la finalidad de optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

La región Pasco hasta el año 2015, es una de las regiones con mayor cantidad de yacimientos mineros y con serios problemas socioambientales debido a la presencia de pasivos abandonados por actividades mineras pasadas. El aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías. Por lo que, la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos.

Nuestra investigación pudimos determinar que la planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) es una planta considerada de Fitoextracción ya que los metales capturados están acumulados en las partes cosechables de las plantas y su eliminación del medio. Conocida también como Fitoacumulación, es la captación de metales contaminantes por las raíces

de las plantas y su acumulación en tallos y hojas, lo cual esto lo confirmamos en la investigación realizada

Palabras claves: Fitorremediación, planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*), tallos y hojas.

SUMMARY

In Complying with the Regulation of Degrees and Titles of the Faculty of Engineering of our "National University Daniel Alcides Carrión", I allow

myself to present the thesis entitled "PHYTORREMIATION TECHNIQUE IN THE EXTRACTION OF HEAVY METALS WITH THE YALUZAI PLANT (*Senecio rudbeckiaefolius*) IN LA RELAVERA DE QUIULACOCHA OF THE DISTRICT OF SIMÓN BOLÍVAR DE RANCAS "with the purpose of choosing the Professional Title of Environmental Engineer.

The Pasco region until 2015, is one of the regions with the highest number of mining deposits and serious socio-environmental problems due to the presence of abandoned liabilities past mining activities. The increase in costs and the limited effectiveness of physicochemical treatments have stimulated the development of new technologies. Therefore, phytoremediation represents a sustainable and low-cost alternative for the rehabilitation of environments affected by natural and anthropogenic pollutants.

Our investigation was able to determine that the YALUZAI plant (*Senecio rudbeckiaefolius*) is a phytoextraction plant since the captured metals are accumulated in the harvestable parts of the plants and their removal from the environment. Also known as Phytoaccumulation, it is the capture of polluting metals by the roots of plants and their accumulation in stems and leaves, which we confirm in the research carried out.

Keywords: Phytoremediation, YALUZAI plant (*Senecio rudbeckiaefolius*), stems and leaves.

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
SUMMARY	V
ÍNDICE	VII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3

1.2.1	Problema General:	3
1.2.2	Problemas Específicos:	3
3.1	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
3.1.1	Objetivo General:	4
3.1.2	Objetivos Específicos:	4
3.2	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
3.3	IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.6	LIMITACIONES	6
MARCO TEÓRICO		7
2.1	ANTECEDENTES	7
2.2	BASES TEÓRICAS Y CIENTÍFICAS	11
2.2.1	FITORREMEDIACIÓN	11
2.2.2	CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE FITORREMEDIACIÓN	13
2.2.3	ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN LAS PLANTAS.	19
2.2.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FITORREMEDIACIÓN	22
2.2.5	PLANTA YALUZAI (<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>)	25
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS:	28
2.4	HIPÓTESIS	31
2.4.1	Hipótesis General	31
2.4.2	Hipótesis Específicos	31
2.4	IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES	32
2.4.2	VARIABLE INDEPENDIENTE	32
2.4.3	VARIABLE DEPENDIENTE	32
2.4.4	VARIABLE INTERVINIENTE	32
CAPÍTULO III		33
MATERIALES Y MÉTODOS		33
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	34
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	34
3.4	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	34
3.4.1	Trabajo de Gabinete (Procedimiento propuesto)	35
3.4.2	Trabajo de campo - Pruebas de remediación (Procedimiento propuesto)	35
3.5	UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO:	36

3.6	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS RELAVES	38
3.7	DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO	40
3.7.1	Sembrado de la Planta Yaluzai (<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>)	40
3.7.2	Cuidados y Mantenimiento de la especie sembrada - Planta Yaluzai (<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>)	44
3.7.3	Monitoreo de Crecimiento de la Especie Planta Yaluzai (<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>)	46
3.7.4	Extracción de Muestras y su Análisis	48
3.8	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	55
3.8.1	Técnicas	55
CAPÍTULO IV		56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		56
4.1	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS, PRESENTACIÓN DE RESULTADOS, TABLAS Y GRÁFICOS ESTADÍSTICOS	56
4.1.1	Resultados de Metales Pesados Capturados en la Relavera Quiulacochoa	56
4.1.2	Resultados de Metales Pesados Capturados en la Relavera Quiulacochoa	58
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	78
4.3	PRUEBA DE HIPÓTESIS	79
CONCLUSIONES		80
RECOMENDACIONES		82
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		83
ANEXOS		87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1:	Contenido Metálico de la Relavera Quiulacochoa.....	39
Tabla N° 2:	Contenido Metálico de la Relavera Quiulacochoa.....	52

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico N° 1: Presencia de Plata (Ag).....	59
Grafico N° 2: Presencia de Aluminio (Al).....	59
Grafico N° 3: Presencia de Arsénico (As).....	60
Grafico N° 4: Presencia de Boro (B).....	60
Grafico N° 5: Presencia de Bario (Ba).....	61
Grafico N° 6: Presencia de Berilio (Be).....	61
Grafico N° 7: Presencia de Calcio (Ca).....	62

Grafico N° 8: Presencia de Cesio (Ce)	62
Grafico N° 9: Presencia de Cobalto (Co)	63
Grafico N° 10: Presencia de Cromo (Cr)	63
Grafico N° 11: Presencia de Cobre (Cu)	64
Grafico N° 12: Presencia de Hierro (Fe)	64
Grafico N° 13: Presencia de Mercurio (Hg)	65
Grafico N° 14: Presencia de Potasio (K)	65
Grafico N° 15: Presencia de Litio (Li)	66
Grafico N° 16: Presencia de Magnesio (Mg)	66
Grafico N° 17: Presencia de Manganeso (Mn)	67
Grafico N° 18: Presencia de Molibdeno (Mo)	67
Grafico N° 19: Presencia de Sodio (Na)	68
Grafico N° 20: Presencia de Niquel (Ni)	68
Grafico N° 21: Presencia de Fosforo (P)	69
Grafico N° 22: Presencia de Plomo (Pb)	69
Grafico N° 23: Presencia de Antimonio (Sb)	70
Grafico N° 24: Presencia de Selenio (Se)	70
Grafico N° 25: Presencia de Estaño (Sn)	71
Grafico N° 26: Presencia de Estroncio (Sr)	71
Grafico N° 27: Presencia de Titanio (Ti)	72
Grafico N° 28: Presencia de Talio (Tl)	72
Grafico N° 29: Presencia de Vanadio (V)	73
Grafico N° 30: Presencia de Zinc (Zn)	73
Grafico N° 31: Presencia de Uranio (U)	74

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 01: Ubicación del depósito de Excélsior y relavera de Quiulacocha.....	37
Imágenes N° 02: Recojo de la Planta Yaluzai (<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>) en Ingenio.....	40
Imágenes N° 03: Área de 9m ² donde se realizó el experimento.....	42
Imágenes N° 04: Sembrío de la especie Planta Yaluzai (<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>).....	43
Imágenes N° 05: Cuidado de la Planta Yaluzai (<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>).....	44

Imágenes N° 06: Riego de la Planta Yaluzai (<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>).....	45
Imágenes N° 07: Control de Crecimiento de la Planta Yaluzai (<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>).....	47
Imágenes N° 08: Materiales de Monitoreo.....	48
Imágenes N° 09: Recolección o Extraído de Muestras.....	50
Imágenes N° 10: Recolección o Extraído de Muestras.....	51
Imágenes N° 11: Etiquetado de Muestras.....	53
Imágenes N° 12: Elaboración de la Cadena de Custodia.....	54

INTRODUCCIÓN

La zona del depósito de la relavera de Quiulacocha está situada en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central en la sierra central del Perú, a 1.2 km al sur oeste de la Ciudad de Cerro de Pasco en el Distrito de Simón Bolívar, Provincia y Región de Pasco.

El objetivo de la presente investigación es determinar si es posible utilizar la técnica de Fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas.

La importancia de la presente investigación es efectiva ya que la fitorremediación constituye una variación de las técnicas de biorremediación, pero se concreta en el “uso de plantas verdes y los microorganismos asociados a ellas, así como las enmiendas del suelo y técnicas agronómicas dirigidas a liberar, contener, o transformar en compuestos inocuos a los contaminantes del suelo”.

La investigación tiene como referencia del antecedente relacionada a lo realizado por B.A. Sepúlveda, O. Pavez, M. Tapia. Fitoextracción de Metales Pesados Desde Relaves Utilizando Plantas de Salicornia Sp. Chile. 2012. En zonas contaminadas con relave se pueden usar plantas que absorben y concentran metales pesados (MP) en sus tejidos (fitoextracción). El uso de *Sarcocornia neri* (salicornia) se evaluó para absorción de MP desde relave, encontrándose que esta planta pudo desarrollarse en relave con crecimiento 39,1% menor que en arena, pero similar a la mezcla relave-arena; se consideró que el crecimiento de salicornia en relave fue satisfactorio para el estudio. En el relave se determinó Cu, Fe, Mn, Mo, As Hg y Cd. Salicornia absorbió mayormente Fe, Cu y Mn. Para el caso de Mn y Hg una tonelada de plantas podría, teóricamente, absorber el 73% y 100%, respectivamente, de los elementos existentes en una tonelada de relave. La absorción para Fe y Cu no fue interesante para una posible aplicación de plantas de salicornia en fitominería, sin embargo, estos resultados muestran que esta especie parece ser adecuada para la fitoextracción desde relaves.

La Autora.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

La minería y actividades asociadas generan una gran cantidad de residuos peligrosos y relaves con presencia de metales pesados que son depositados en la superficie del entorno minero. Así, el suelo original de la mina se degrada o se pierde irreversiblemente. El “nuevo suelo” sufre un grave impacto durante la explotación minera, es frecuentemente inestable, y está formado por materiales poco aptos para el desarrollo de las actividades biológicas y los procesos formadores de suelo. Incluso después de desaparecida la actividad industrial estas condiciones

adversas persisten durante mucho tiempo como sucede en la relavera de Quiulacocha.

La región Pasco hasta el año 2015, es una de las regiones con mayor cantidad de yacimientos mineros y con serios problemas socioambientales debido a la presencia de pasivos abandonados por actividades mineras pasadas. Según el inventario de Pasivos Ambientales Mineros (PAMs), actualizado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), se registró 454 PAMs, por lo que es necesario buscar alternativas sostenibles de remediación, que la propia naturaleza refleja al mostrar una variedad de especies nativas que crecen en estas áreas perturbadas.

Asimismo, el aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías. Por lo que, la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos (Singh y Jain, 2003; Reichenauer y Germida, 2008).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Problema General:

¿Es posible utilizar la técnica de Fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas?

1.2.2 Problemas Específicos:

- 1 ¿Cuál es el factor de bioconcentración de metales pesados en la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas?
- 2 ¿Cuál es la concentración de metales pesados en las raíces en la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas?.
- 3 ¿Cuál es la concentración de metales pesados en la parte aérea planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas?

3.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Objetivo General:

Determinar si es posible utilizar la técnica de Fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas

3.1.2 Objetivos Específicos:

1. Verificar el factor de bioconcentración de metales pesados en la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas
2. Determinar la concentración de metales pesados en las raíces en la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas.
3. Determinar la concentración de metales pesados en la parte aérea planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas.

3.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La fitorremediación 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. La fitorremediación es, por tanto, una de las técnicas más justificable y promisorias para remediar suelos y relaves 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. Pero por su bajo costo y técnica que se adecua de forma natural al entorno ambiental hace que sea una técnica más favorable a diferencia del tratamiento químico y físico.

3.3 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia de la presente investigación es efectiva ya que la fitorremediación constituye una variación de las técnicas de biorremediación, pero se concreta en el “uso de plantas verdes y los microorganismos asociados a ellas, así como las enmiendas del suelo y técnicas agronómicas dirigidas a liberar, contener, o transformar en compuestos inocuos a los contaminantes del suelo”. La fitorremediación

comprende tanto los procesos dirigidos a liberar el contaminante de la matriz del suelo (descontaminación), como los encargados de secuestrarlos en dicha matriz (estabilización).

El alcance de la investigación está enmarcado a brindar nuevos conocimientos en el tratamiento de relaves específicamente en el distrito de Simón Bolívar de Rancas.

1.6 LIMITACIONES

- Acceso a las instalaciones de la relavera de Quiulacocha
- Costos elevados en los análisis de muestras de plantas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Javier Paredes Mur de la Universidad Católica de Santa María; Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros Urb. Yanahuara, Arequipa, Perú. Marzo 2015. 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, Buddleja coriacea, Eucalyptus globulus, Myoporum laetum, Polylepis racemosa y Schinus molle) 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).

Se pudo notar que hay una mayor remoción de Cu usando todas las especies evaluadas, siendo *P. racemosa* con la que se obtuvo el mayor porcentaje de remoción (90.15%), esta especie también fue la que logró mayor remoción de Sb (80.14%), As (54.62%), Ag (50.65%) y Pb (71.21%). Para el Cd, el Eucalipto fue la especie con la que se obtuvo el mayor porcentaje de remoción (50.05%).

Se ha encontrado referencias que muestran que la especie *E. globulus* es capaz de tolerar suelos contaminados con Zn, Cu y Pb; en ensayos de fitorremediación de contaminación por metales pesados, la especie *E. camaldulensis* es una de las más estudiadas. *M. laetum* tiene la capacidad de tolerar y acumular niveles tóxicos del metal Pb; también indican que es capaz de desarrollarse en suelos contaminados con Zn.

2.1.2 B.A. Sepúlveda, O. Pavez, M. Tapia. Fitoextracción de Metales Pesados Desde Relaves Utilizando Plantas de Salicornia Sp. Chile. 2012. En zonas contaminadas con relave se pueden usar plantas que absorben y concentran metales pesados (MP) en sus tejidos (fitoextracción). El uso de *Sarcocornia neei* (salicornia) se evaluó para absorción de MP desde relave, encontrándose que esta planta pudo desarrollarse en relave con crecimiento 39,1% menor que en arena, pero similar a la mezcla relave-arena; se consideró que el crecimiento de salicornia en relave fue satisfactorio para el estudio. En el relave se determinó Cu, Fe, Mn, Mo, As Hg y Cd. Salicornia absorbió mayormente Fe, Cu y Mn. Para el caso de Mn y Hg una tonelada de plantas podría, teóricamente, absorber el 73% y 100%, respectivamente, de los elementos existentes en una tonelada de relave. La absorción para Fe y Cu no fue interesante para una posible aplicación de plantas de salicornia en fitominería, sin embargo estos resultados muestran que esta especie parece ser adecuada para la fitoextracción desde relaves.

2.1.3 Enoc Jara-Peña, José Gómez, Haydeé Montoya, Magda Chanco, Mauro Mariano y Noema Cano. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Lima. Perú. 2014. La fitorremediación consiste en el uso de plantas para remediar in situ suelos, sedimentos, agua y aire contaminados por desechos orgánicos, nutrientes o metales pesados, eliminando los contaminantes del ambiente o haciéndolos inocuos. El trabajo fue realizado en condiciones de invernadero en el distrito de Lachaqui, provincia de Canta, región Lima, de octubre de 2011 a octubre de 2012. Fueron evaluados veinte tratamientos con un diseño factorial completo 5 x 4: 5 especies alto andinas, y 4 sustratos con 30%, 60%,100% de relave de mina (RM) y suelo sin RM. La producción de biomasa disminuyó significativamente en *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata* y *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, con el tratamiento de 100% de relave de mina. La mayor eficiencia de acumulación de plomo y zinc fue obtenida en las raíces de *Fuertesimalva echinata* con el tratamiento de 100% de relave de mina, obteniendo 2015.1 mg de plomo kg⁻¹ MS y 1024.2 mg de zinc kg⁻¹ MS. En las raíces de *L. ballianus* fue obtenida la más alta acumulación de cadmio, con una concentración de 287.3 mg kg⁻¹ MS con el tratamiento de 100% de relave de mina. *Fuertesimalva echinata* presentó el mayor índice de tolerancia (IT) al tratamiento de 100% de relave de mina, con un IT de

41.5%, pero, *S. nitidum* y *L. ballianus* presentaron el mayor IT al tratamiento de 60% de relave de mina con IT de 68.5% y 67.9.

2.2 BASES TEÓRICAS Y CIENTÍFICAS

2.2.1 FITORREMEDIACIÓN¹

El concepto de usar plantas para limpiar suelos contaminados no es nuevo, desde hace 300 años las plantas fueron propuestas para el uso en el tratamiento de aguas residuales (plantas acuáticas en aguas contaminadas con plomo, cobre, cadmio, hierro y mercurio).

La remediación de la acumulación de metales pesados en suelos utilizando plantas es también ampliamente reconocida. En Rusia en los años 60 se ha investigado la recuperación de suelos contaminados con radionucleótidos.

Dentro de las técnicas biológicas o ecológicas, el uso de plantas se considera potencialmente capaz de dar soluciones in situ.

¹ Patricia Rosario López Pino Fitorremediación en los Suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí – Lima. LIMA – PERÚ. 2011.

Aunque el conocimiento básico de que las plantas pueden ser usadas para remediación del ambiente ha sido conocido desde décadas pasadas, sólo recientemente ha sido reconocido completamente el valor de las **plantas acumuladoras de metales** en la recuperación de suelos contaminados. Es una técnica que se encuentra todavía en etapa de investigación y desarrollo, el número de pruebas de campo es pequeño.

Actualmente se estudia la descontaminación de suelos, sedimentos y agua, originada por sustancias tóxicas, mediante estrategias basadas en el uso de plantas que tienen la propiedad de acumular contaminantes como solventes, plaguicidas, hidrocarburos poliaromáticos, metales pesados y no metales, explosivos, elementos radiactivos, fertilizantes, entre otros, haciéndolos más biodisponibles para la planta.

Este proceso denominado "**fitorremediación**" consiste en la *remoción, transferencia, estabilización y/o degradación y neutralización de compuestos tóxicos.*

La fitorremediación (del griego “*phyto*” o “planta”), también llamada FITOLIMPIEZA o FITOCORRECCIÓN, incluye cualquier *proceso biológico, químico o físico, inducido por las plantas, que ayude en la absorción, degradación y metabolización de los contaminantes, ya sea por las plantas mismas o por los microorganismos que se desarrollan en la rizósfera.*

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE FITORREMEDIACIÓN²

La fitorremediación contempla seis procesos básicos a través de los cuales las plantas pueden contribuir a la recuperación de suelos, sedimentos y aguas contaminadas. Dependiendo de la estrategia de recuperación, los procesos darán lugar a dos tendencias o comportamiento de los contaminantes del suelo, que son la eliminación o la retención de los mismos. (Ver **Figura N° 01**).
Instalación física donde se realiza la fase industrial del proceso minero donde el mineral a tratar se encuentra en oxidado o sufrido alteración por el oxígeno, sea éste mecánico (quebradores, zarandas, molinos, ciclones, etc.), químico o biológico, incluyendo el proceso de concentración, fundición y refinado.

² Patricia Rosario López Pino Fitorremediación en los Suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí – Lima. LIMA – PERÚ. 2011.

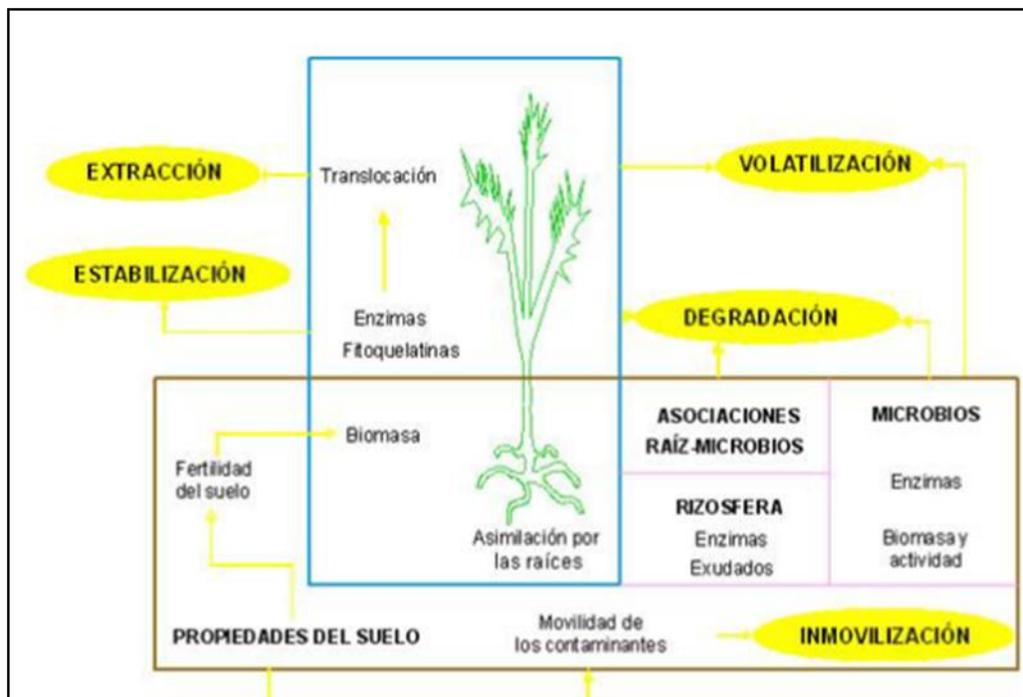
Eliminación de contaminantes

Fitoextracción.- Acumulación de los metales en las partes cosechables de las plantas y su eliminación del medio. Conocida también como fitoacumulación, es la ***captación de metales contaminantes por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas.***

Algunas plantas absorben cantidades extraordinarias de metales en comparación con otras. Se selecciona una de estas plantas o varias de este tipo y se plantan en un sitio según los metales presentes y las características del lugar. Después de un tiempo, cuando las plantas han crecido, se cortan y se incineran o se deja que se transformen en abono vegetal para reciclar los metales.

Este procedimiento se puede repetir la cantidad de veces que sea necesario para reducir la concentración de contaminantes en el suelo a límites aceptables. Al incinerar las plantas, las cenizas deben colocarse en un vertedero para desechos peligrosos, siempre que la ceniza sea sólo un 10% del volumen de los desechos que habría que eliminar si se excavara el suelo contaminado para tratarlo.

Figura N° 01.- Procesos implicados en la fitorremediación de suelos contaminados



Fuente: M. P. Bernal - Ecosistemas -Mayo 2007

Fitovolatilización.- Se produce a medida que los árboles y otras **plantas en crecimiento absorben agua junto con contaminantes orgánicos**. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse en la atmósfera. Los álamos, por ejemplo, evaporan el 90% de los contaminantes que absorben. Los árboles pueden realizar una acción de bombeo orgánico cuando sus raíces se

extienden hacia la napa freática, formando una masa densa de raíces que absorbe una gran cantidad de agua.

Los álamos absorben 113 litros de agua por día, y hay una variedad ***Populus deltoides*** que absorbe hasta 1325 litros por día.

La acción de bombeo de las raíces disminuye la tendencia de los contaminantes superficiales a descender hacia el agua subterránea y el agua potable.

Los álamos plantados a lo largo de cursos de agua reducen el exceso de fertilizantes y herbicidas. Árboles plantados en vertederos como sustitutos orgánicos de la tradicional capa de arcilla o de plástico absorben agua de lluvia que, de lo contrario, se filtraría por el vertedero y llegaría al fondo en forma de "lixiviado" contaminado.

Fitodegradación.- Conocida también como Fitotransformación. Es el metabolismo o degradación enzimática de contaminantes orgánicos en el interior de la planta, transformándolos en no-tóxicos o disminuyendo su toxicidad (*incluye la fitovolatilización*).

Rizofiltración.- es una técnica prometedora para abordar el problema de la contaminación del agua con metales. Similar a *la fitoextracción*, pero **en lugar de suelo** las **plantas que se usan para la limpieza se cultivan en invernaderos con las raíces en agua**. Cuando las plantas tienen un sistema radical bien desarrollado, el agua contaminada se transporta hasta las plantas y las **raíces absorben el agua con los contaminantes**.

A medida que las raíces se saturan de contaminantes, se cortan y se eliminan. Además de extraer metales del agua, la rizofiltración puede ser útil para descargas industriales, escorrentía de tierras agrícolas, drenaje de minas de ácidos y contaminantes radiactivos. El girasol fue utilizado en la extracción de radiactivos en Chernobyl, Ucrania.

Retención de contaminantes

Fitoestabilización.- Reduce la movilidad de los contaminantes y su biodisponibilidad hacia la cadena alimenticia, previene migración de metales a aguas subterráneas o aire.

También se utiliza para reforestar sitios muy contaminados que carecen de vegetación. Las plantas tolerantes a metales se utilizan para restaurar la vegetación y disminuir la migración de contaminación con la erosión del viento y de lixiviación de contaminantes del suelo a aguas subterráneas. En algunos casos los metales pueden ser transformados a menos biodisponibles y por consiguiente a formas menos tóxicas.

Fitoimmobilización.- Reducción de la “disponibilidad” de metales en el suelo, mediante adsorción/ absorción, precipitación o quelatación en raíces o rizósfera. Puede contribuir a la disminución de la solubilidad de metales y la re-vegetación de lugares contaminados. El proceso se basa en la habilidad de las raíces y/o microorganismos asociados para impedir el movimiento de contaminantes y su transferencia a la parte aérea de la planta. Los mecanismos suponen la precipitación de contaminantes en formas insolubles en el suelo y acumulación en las vacuolas de las raíces.

2.2.3 ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN LAS PLANTAS³.

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.

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).

³ Medina Marcos, Katy Damacia y Montano Chávez, Yeidy Nayclin Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013.

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 (Baker et al., 2000), 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) (Vangronsveld & Cunningham, 1998; Berti & Cunningham, 2000). 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 exclusoras 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 & 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 (Rotkittikhun, R; M. Kruatrachue; R. Chaiyarat; C. Ngernsansaruay; P. Pokethitiyook; A. Paijitprapaporn & A.J.M. Baker, 2006).

Los órganos de las plantas difieren en su capacidad para acumular metales. En la mayoría de las plantas, raíces, tallos, hojas, frutos y semillas presentan diferentes niveles de concentración y acumulación de metales pesados (Kloke, 1994). Cuando la fuente de metales pesados es el suelo, en general los niveles decrecen en el orden: raíces > tallos > hojas > frutos > semillas. Por ejemplo, plantas jóvenes de girasol (*Helianthus annuus*) creciendo en solución nutritiva suplementada con Cd, Cu, Pb y Zn acumularon metales especialmente en las raíces y en los tallos (Kastori, 1992). Los aportes por deposición aérea pueden cambiar el orden, especialmente para Pb. Se clasificó al B, Cd, Mn, Mo (molibdeno), Se y Zn como elementos fáciles de translocar a la parte superior de las plantas Ni,

Co y Cu como intermedios, y Cr, Pb y Hg (mercurio) como los translocados en última instancia (Chaney & Giordano, 1977).

2.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FITORREMEDIACIÓN⁴

VENTAJAS DE LA FITORREMEDIACIÓN

- ✓ Método terapéutico atractivo, debido a su simplicidad.
- ✓ Gasto financiero y tecnológico, de relativo bajo costo. Tecnología económica.
- ✓ De impacto regenerativo. Tecnología *in situ*, evita ruptura dramática del terreno y preserva el ecosistema. Genera cobertura “verde” estética y ecológica.
- ✓ Su capacidad extractiva se mantiene debido al crecimiento vegetal.
- ✓ Puede ser modificada para aumentar su capacidad y selectividad extractiva, por ejemplo, por modificación genética (*Arabidopsis thaliana* en reducción de Hg (II)).
- ✓ Posibilidad de bio-recuperación de ciertos contaminantes, como metales pesados.

⁴ Patricia Rosario López Pino Fitorremediación en los Suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí – Lima. LIMA – PERÚ. 2011.

Esta nueva técnica de enmienda basada en prácticas agronómicas, consiste en cultivar plantas en un lugar contaminado, después cosecharlas y estas plantas llenas de metales pesados podrían generar una ganancia:

- 1) Como biomasa para generar energía, vendiéndose a compañías de energía eléctrica.
- 2) **Fitominería:** Las cenizas resultantes de la incineración ***también podrían ser llevadas a una fundición para recobrar el metal y nuevamente crear un flujo de ingresos.***

Los beneficios derivados de esta estrategia de fitoenmienda abarcan los sectores del ambiente, la salud, industria y energía. Las pruebas científicas han confirmado la validez de esta estrategia y se han emprendido gestiones para obtener financiamiento para los crecientes esfuerzos puestos en marcha en varios países.

Es importante reconocer que la fitorremediación ofrece ventajas adicionales a la limpieza de suelos y mantos freáticos al emplear alguno de los siguientes mecanismos:

- ✓ Aumento de actividad y población microbiana en subsuelo, aumenta C orgánico.
- ✓ Mejoras en la aeración del suelo por la liberación de oxígeno por las raíces.
- ✓ Retraso del movimiento e intercepción de compuestos orgánicos y algunos metales.
- ✓ Estimulación de transformación de compuestos tóxicos a menor toxicidad.
- ✓ Captación de hidrocarburos volátiles por las hojas, que sirven de “tapadera” a los lugares contaminados.

Desventajas de la Fitorremediación

La fitorremediación no es un remedio para todos los suelos contaminados, antes de que pueda volverse eficiente en técnica y costo, hay limitaciones a ser superar:

- ✓ Sus mecanismos moleculares, bioquímicos y fisiológicos poco conocidos. Sus procesos como hiperacumuladoras no sean bien entendidos. Un gran número de plantas hiperacumuladoras todavía están por descubrirse e identificarse.

- ✓ Mínimo conocimiento de la agronomía, genética y de las enfermedades de plantas que acumulan metales, en su gran mayoría, silvestres, pequeñas y de crecimiento lento.

- ✓ Proceso lento porque el índice de acumulación es proporcional al crecimiento de la planta. No hay planta con todas las características y los criterios ideales de una hiperacumuladora eficaz (crecimiento rápido y raíces extensas de biomasa alta, fáciles de cosechar, plantas acumuladoras de una amplia gama de metales tóxicos).

- ✓ Se hace necesario **introducir sistemas biológicos como la simbiosis entre hongos micorrízicos y las plantas** para coadyuvar en la recuperación de suelos contaminados, o más aún, **modificarlas genéticamente** para mejorarlas y sean empleadas satisfactoriamente como agentes en el proceso de fitorremediación.

2.2.5 PLANTA YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*)

Senecio es un género cosmopolita extremadamente complejo de plantas herbáceas y arbustivas de la familia Asteraceae.

Comprende un amplio número de subgéneros y especies: unas 4400 descritas, de las cuales solo casi 1600 son taxones aceptados. Tienen unas morfologías extremadamente diversas, incluyendo hojas suculentas; también hay taxones con tallos y raíces suculentas, anuales, perennes, acuáticas, de montaña, arbustos y pequeños árboles.

Son hierbas o matas de hasta 2,5 m de altura, anuales, bienales o perennes, eventualmente rizomatosas, erectas o decumbentes, con hojas de enteras a pinnatisectas, enteras o denticuladas/serradas, glabras o pubescentes; las basales pecioladas, las caulinares alternas y sentadas.

Los capítulos se organizan en inflorescencias corimbosas, rara vez solitarias.

Los capítulos, habitualmente pedunculados, se organizan en inflorescencias corimbosas, cimosas, más raramente paniculiformes, racemosas o, incluso, axilares o solitarias.

El Involucro, habitualmente cilíndrico, hemiesférico o campanulado suele tener un diámetro entre 0,5 y 4 cm y está constituido por 5-34 brácteas erectas, oblongas, lineares o lanceoladas, habitualmente libres pero también a veces conadas, con márgenes usualmente escariosos o membranáceos y a menudo reflejas en la fructificación, en 1-2 filas rodeando un receptáculo llano hasta convexo, desnudo y alveolado. Dichos capítulos son generalmente radiados y heterógamos, con, cuando existen, 5-34 lígulas externas pistiladas fértiles con corola usualmente de color amarillo, pero también blanco, rojo, purpúreo.

Los flósculos centrales, en número de 3 hasta 80, son hermafroditas, con tubo de la corola cilíndrico y limbo pentafido con lóbulos triangulares erectos o recurvados y su color va desde el blanco hasta el púrpura, pasando por el amarillo y el rojo. Las cipselas son de forma subcilíndrica a prismática y son usualmente longitudinalmente pentaacostilladas o angulosas y glabras o pubescentes. Están coronadas por un vilano—eventualmente ausente en los frutos de las lígulas o, incluso, de todas las flores— habitualmente persistente y frágil, pero también a veces tempranamente sésil, casi siempre formado por pelos

blancuzcos homomórficos lisos, pero también con algunos o todos apicalmente o totalmente barbulados/ásperos

Figura N° 02.- Senecio rudbeckiaefolius



2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS:

2.3.1 Bioacumulación

Concentración resultante acumulada en el ambiente o en los tejidos de organismos a partir de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes obtenidos por todas las rutas de exposición por ejemplo por aire, agua, suelo, sedimento y alimento.

2.3.2 Bioconcentración

Capacidad de algunos compuestos químicos de concentrarse (incrementar progresivamente su cantidad acumulada) en tejidos de algún organismo vivo sin causarle un daño evidente. Esta característica es típica de muchos organismos acuáticos; por ella, magnifican el problema y ponen al tóxico en situación de disponibilidad para el resto de la cadena trófica, en el curso de la cual el proceso de concentración continúa.

2.3.3 Contaminante

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

2.3.4 Metales Pesados

Metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los más importantes son:

Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Cinc (Zn).

2.3.5 Relave

El relave es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga (o sin valor comercial), aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico.

2.3.6 Suelo

Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

2.3.7 Suelo contaminado

Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes

depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM.

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 Hipótesis General

Utilizando la técnica de Fitorremediación se extraerá metales pesados como plomo, zinc, fierro y cobre con la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas.

2.4.2 Hipótesis Específicos

1. La bioconcentración de metales pesados en la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas son elevados como plomo, zinc, fierro y cobre
2. La concentración de metales pesados en las raíces en la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas son en miligramos.

3. La concentración de metales pesados en la parte aérea planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas son en miligramos.

2.4 . IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

2.4.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*)

2.4.3 VARIABLE DEPENDIENTE

Extracción de Metales Pesados

2.4.4 VARIABLE INTERVINIENTE

Relavera de Quiulacocha

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la Investigación, será de tipo descriptivo y Longitudinal

Descriptivo porque narraremos los fenómenos como aparecen los resultados al inicio de la investigación y con qué tipos metales capturo la especie concluida la investigación y Longitudinales por que el estudio se hace en un tiempo prolongado viendo la evolución del evento bajo estudio.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se empleará el diseño experimental, esta investigación se presenta mediante la manipulación de una variable no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de escribir de qué modo y por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población y Muestra

Población

La población está compuesta por el área total del área del relavera de Quiulacocha que es de 115 hectáreas.

Muestra

La muestra está de forma aleatoria, representado por el área total 9 m² lugar donde se habilito para realizar nuestro experimento.

3.4 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación se realizó mediante el siguiente procedimiento:

3.4.1 Trabajo de Gabinete (Procedimiento propuesto)

Para este caso se recolecto la información como realizar el sembrío, cuidado y regado de la especie a experimentar, ya que la fitorremediación de los problemas debe basarse en un conocimiento lo más completo posible del caso, incluyendo el análisis del foco del problema, del proceso que da origen al problema, y los posibles afectados por el mismo, para intentar actuar sobre alguno de ellos de forma que se impida la evolución del proceso, o bien se minimicen sus efectos de una u otra forma.

3.4.2 Trabajo de campo - Pruebas de remediación (Procedimiento propuesto)

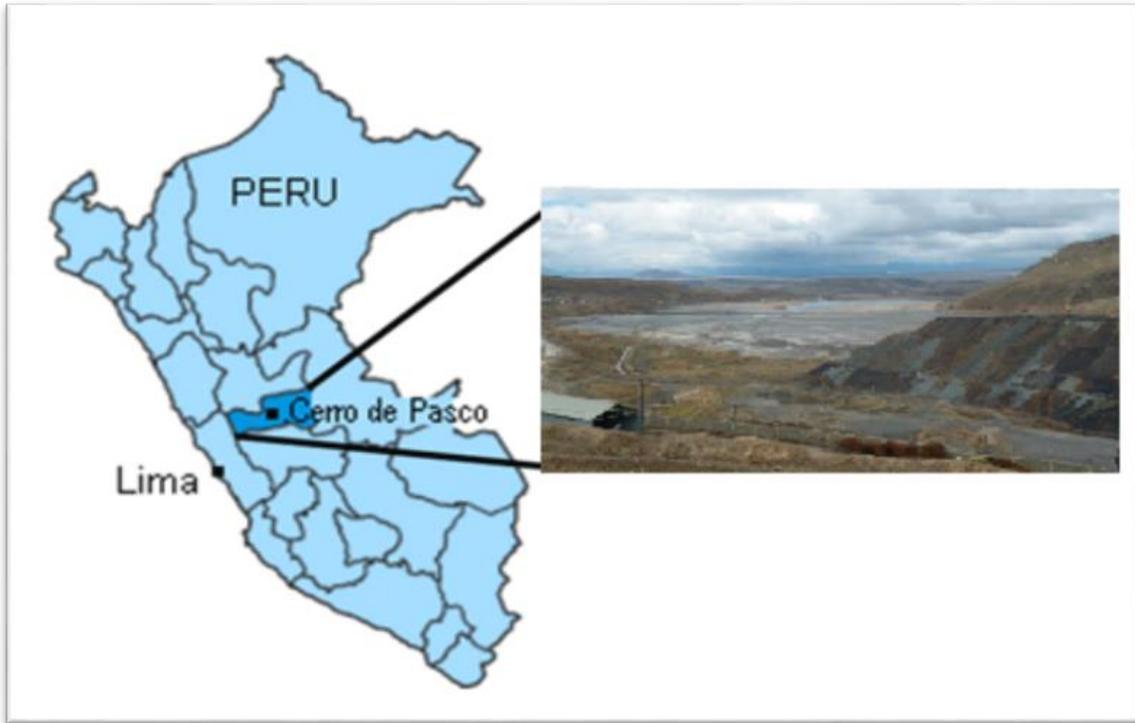
El trabajo de campo contempla el sembrío, riego, cuidados y extracción de muestra después de 9 meses. Si el relave plantado la especie de flora, se da la respuesta esperada en el sistema suelo-planta y por tanto, los resultados de la etapa de pruebas en el laboratorio son positivos, aunque no son únicos ni definitivos. El trabajo de campo o las pruebas de remediación del suelo contaminado empieza con la aplicación de los primeros resultados a nivel de laboratorio, en parte de la zona afectada.

3.5 UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO:

La zona del depósito de la relavera de Quiulacocha está situada en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central en la sierra central del Perú, a 1.2 km al sur oeste de la Ciudad de Cerro de Pasco en el Distrito de Simón Bolívar, Provincia y Región de Pasco, tal como se puede observar en la imagen N° 01. Se ubica a una distancia aproximada de 130 Km. al norte de La Oroya y a 310 Km. de Lima, a una altitud de 4266 m.s.n.m. La relavera de Quiulacocha se localizan inmediatamente aguas abajo, de las operaciones de Volcan Cía. Minera S.A.A., contiguo a la Comunidad Urbana de Champamarca y Comunidad Campesina de Quiulacocha.

El acceso desde la ciudad de Lima es a la altura del Km. 296 de la Carretera Central en un desvío de aproximadamente 6 Km y desde la ciudad de Cerro de Pasco a 3 Km aproximadamente.

Imagen N° 01: Ubicación del depósito de Excélsior y relavera de Quiulacocha



Fuente: Elaboración Propia

La relavera de Quiulacocha antiguamente laguna Quiulacocha es una laguna de relave que tiene una superficie de 114 hectáreas. La laguna está casi totalmente rellena por aproximadamente 26,400,000.00 m³ de rocas de desecho que contiene cerca del 60% de pirita (Asociación Civil Centro de Cultura Popular Labor, 2009). El Depósito de Relaves de Quiulacocha, alberga relaves mineros, producto de las operaciones desde los años de

1943, los relaves fueron acumulados proveniente del tratamiento de minerales de cobre de la Planta Concentradora de Quiulacocha, ubicada al borde Sur - Este de la laguna del mismo nombre, posteriormente en el periodo de 1943 a 1992 recibió los relaves del procesamiento del mineral de plomo, zinc y plata procesados en la Planta Concentradora Paragsha y a partir de 1979 recibió relaves de la Concentradora San Expedito. La concentración más importante de mineral se centraliza en su orden por el Zinc, Plomo y Plata. (Activos Mineros 2012).

3.6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS RELAVES

Para determinar las características químicas de los relaves se extrajo dos fuentes quienes realizaron estudios en esta relavera. Por una parte, realizado por CESEL Ingenieros a solicitud de Activos Mineros SAC y por otro lado información extraído de Centro de Cultura Popular LABOR.

- **Información de CESEL Ingenieros**

En la tabla N° 01 se detalla el contenido de metales como plomo, zinc y plata que contiene los relaves de Quiulacocha.

Tabla N° 01: Contenido Metálico de la Relavera Quiulacocha

RELAVE				
PERIODO	TON	%Pb	%Zn	g-Ag/t
1964 - 1991	41,086,944	0.86	1.23	47.01

Fuente: CESEL Ingenieros S.A.

- **Información de Centro de Cultura Popular LABOR.**

De esta información se extrajo la siguiente información:

“La laguna está casi totalmente rellena por aproximadamente 26,400,000.00 m³ de rocas de desecho que cubren 94 has y contiene cerca del 60% de pirita. En la laguna se reconocen dos tipos de relaves: los relaves ricos en zinc y plomo y los relaves ricos en cobre (Wade C. et al. 2006)”.

De dicha información menciona que el 60 % es contenido piritoso lo cual como sabemos la pirita es un sulfuro de hierro (FeS₂).

3.7 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

3.7.1 Sembrado de la Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*)

En primer lugar, se realizó el recojo de 10 esquejes de 5 cm de altura aproximadamente, procedentes de Ingenio - Provincia de Huancayo, tal como se puede visualizar del recojo de la Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en Ingenio en las imágenes N° 02 posteriormente para ser trasladado con la misma tierra procedente de su origen hacia la ciudad de Cerro de Pasco.

Imágenes N° 02: Recojo de la Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en Ingenio





Ya en la ciudad de Cerro de Pasco fueron sumergidos en agua durante 10 días hasta que brotaron raicillas blancas.

Después fueron sembrados el 12 de octubre del 2017, en el área total 9 m² lugar donde se habilito para realizar nuestro experimento, el área está dotada de 30 cm de tierra orgánica de espesor, lo cual se realizó el sembrío de los esquejes, tal como se puede ver en las imágenes N° 03 y 04.

Imágenes N° 03: Área de 9m² donde se realizó el experimento



Imágenes Nº 04: Sembrío de la especie Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*)



3.7.2 Cuidados y Mantenimiento de la especie sembrada - Planta

Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*)

Para el adaptado de la Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) se tuvo que proteger con el apilado de piedras y paja extraído de la zona cercana de tal como se puede observar en las imágenes N° 05. El tiempo de cuidado fue durante 9 meses y por otro lado también debemos mencionar que se realizó el riego en época de estiaje una vez por semana.

Imágenes N° 05: Cuidado de la Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*)





Imagen N° 06: Riego de la Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*)



3.7.3 Monitoreo de Crecimiento de la Especie Planta Yaluzai

(*Senecio rudbeckiaefolius*)

El monitoreo del crecimiento de la Especie Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) se realizó en las siguientes fechas y la medida de crecimiento, este monitoreo del crecimiento lo podemos constatar en las imágenes N° 07:

- Primera Semana de Enero: 8 cm a 10 cm
- Primera Semanas de Abril: 10 cm a 15 cm
- Primera Semana de Julio: 20 cm a 50 cm

Cabe destacar que la especie al inicio de su adaptación tuvo dificultades ya que se observó que las hojas estuvieron amarillentas a posterior donde en el segundo y tercer monitoreo la especie se adaptó al clima frígido y a la presencia de material denominado relave.

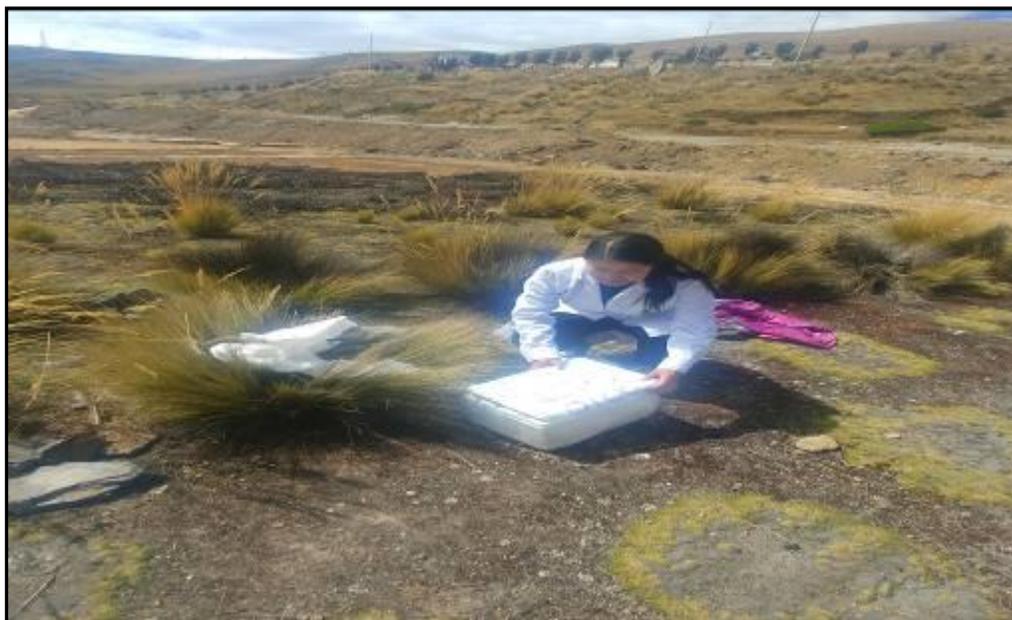
Imagen N° 07: Control de Crecimiento de la Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*)

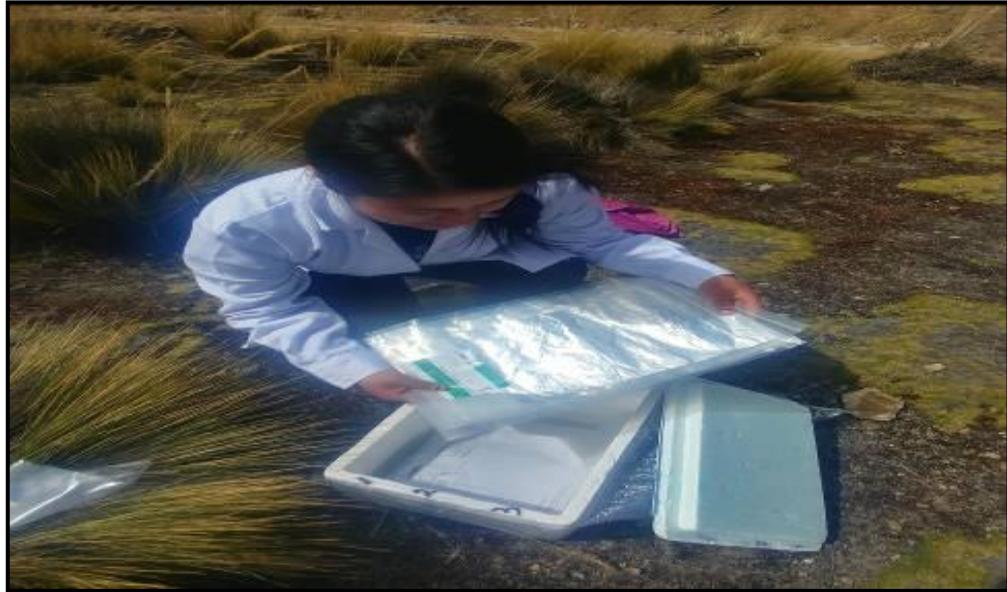


3.7.4 Extracción de Muestras y su Análisis

Adaptado la Especie Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) se extrajo las muestras el 03 de agosto del 2018 cumpliendo el protocolo que determina el Laboratorio “Servicios Analíticos Generales”, para ello el laboratorio mencionado nos envió los materiales de monitoreo como: Guantes, Navaja, Bolsas, preservantes y cooler, tal como se observa en las imágenes N° 08.

Imágenes N° 08: Materiales de Monitoreo

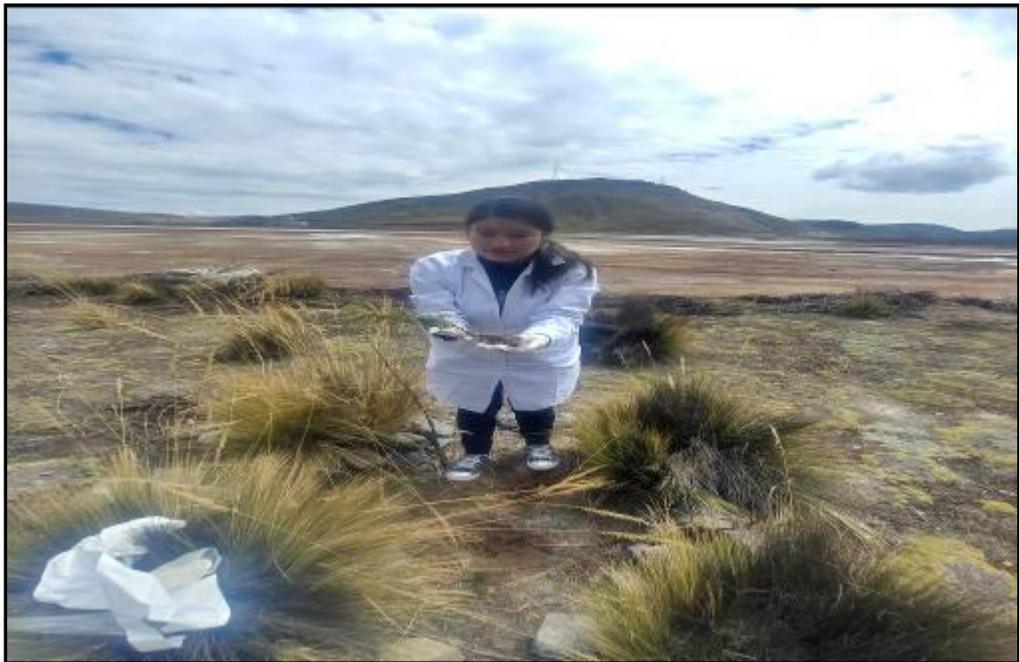




Luego se realizó el recogido o extraído de muestras de 50 gr tal como nos solicitó el laboratorio, como se muestra en las imágenes N° 09, el número de muestreo fueron 4 con la codificación siguiente:

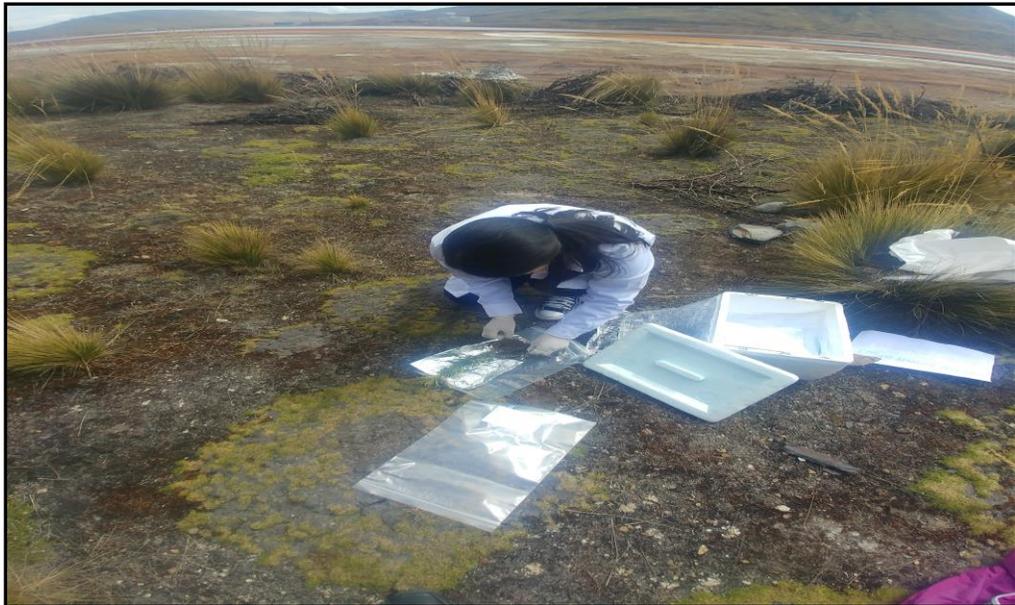
1. PUNTO A-HOJA
2. PUNTO A-RAIZ
3. PUNTO B-HOJA
4. PUNTO B-RAIZ

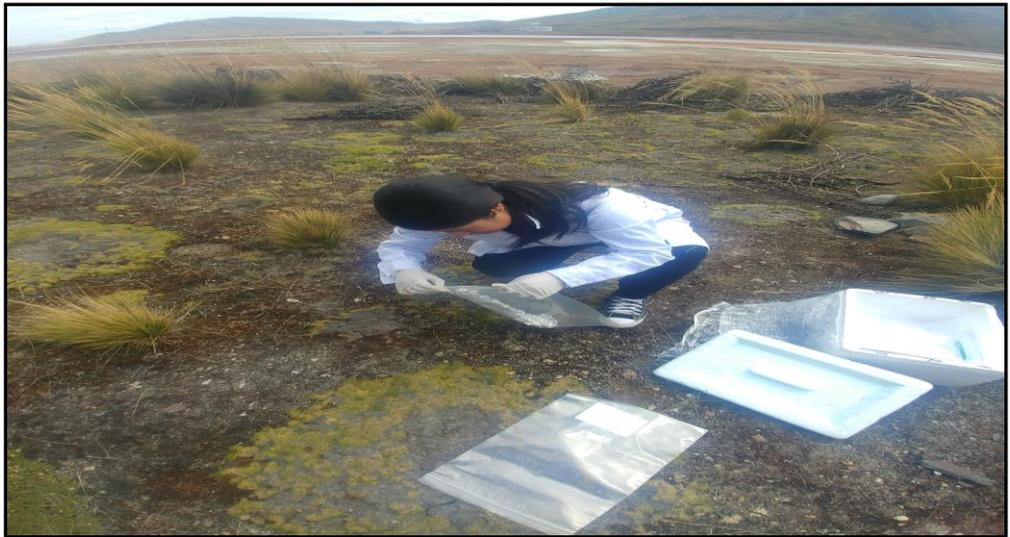
Imágenes N° 09: Recolección o Extraído de Muestras



Posterior se realizó el preservado y enviado al laboratorio para sus análisis respectivos imágenes N° 10. Por otro lado, se etiqueto y se realizó la cadena de custodia de las muestras recolectadas tal como se puede observar en las imágenes N° 11 y 12 respectivamente.

Imágenes N° 10: Recolección o Extraído de Muestras

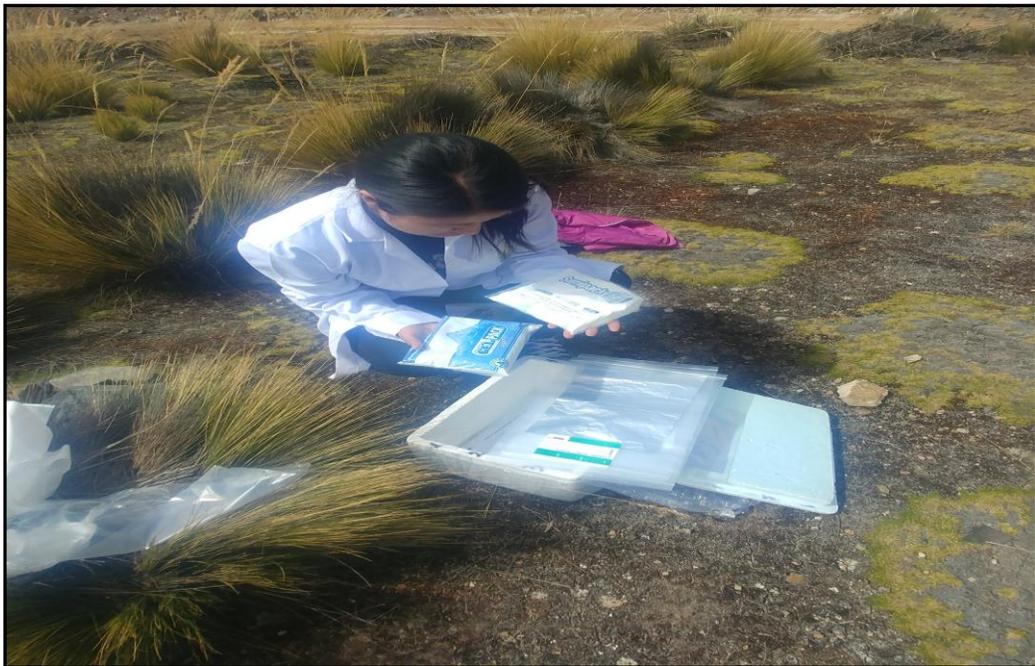
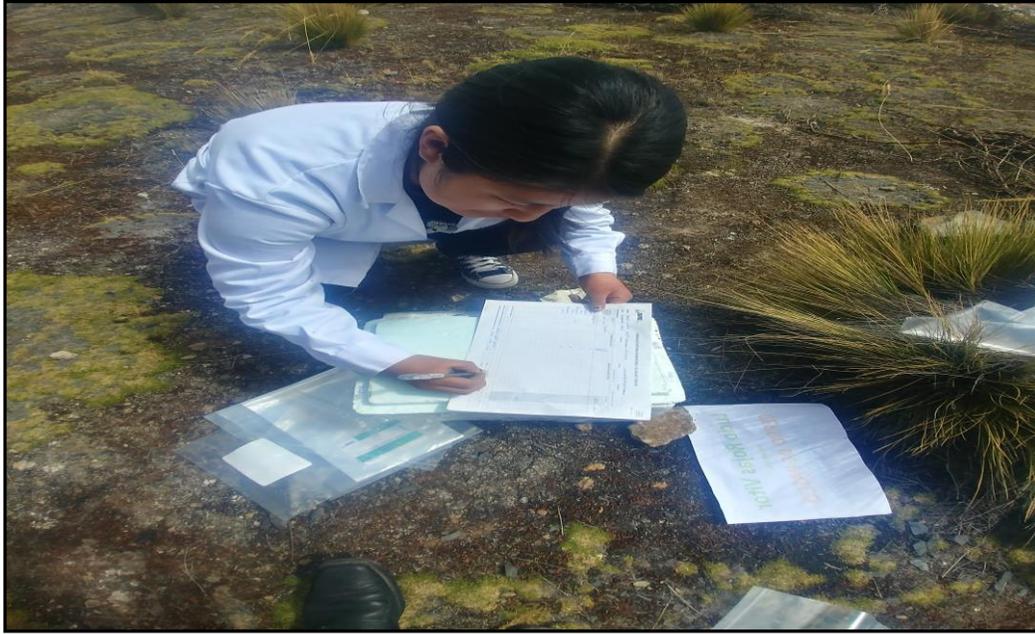




Imágenes N° 11: Etiquetado de Muestras



Imágenes N° 12: Elaboración de la Cadena de Custodia



3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.8.1 Técnicas

3.8.1.1 Revisión de Estudios: Revisión de estudios del contenido de metales pesados en la relavera Quiulacocha

3.8.1.2 Sembrío de Especie: Mínimo 9 meses

3.8.1.3 Mantenimiento y Cuidado: Visitas de Campo para evaluar el crecimiento de la especie a experimentar

3.8.1.4 Monitoreo y Análisis de Muestra: Contenido de Metal Pesado capturado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS, PRESENTACIÓN DE RESULTADOS, TABLAS Y GRÁFICOS ESTADÍSTICOS

4.1.1 Resultados de Metales Pesados Capturados en la Relavera Quiulacocha

El 16 de agosto el laboratorio Servicios Analíticos generales acreditado por INACAL nos reportó los siguientes resultados, para más detalle del resultado del laboratorio se puede observar en la Tabla N° 2 y el certificado respectivo lo adjuntamos en el Anexo N° 2 de la presente investigación.

Tabla N° 02: Contenido Metálico de la Relavera Quiulacocha

TEJIDO VEGETAL					
		PUNTO A-HOJA	PUNTO A-RAIZ	PUNTO B-HOJA	PUNTO B-RAIZ
Metales Pesados (mg/Kg)	Plata (Ag)	3.35	0.94	1.9	0.40
	Aluminio (Al)	6634.1	1315.4	2549.4	2351.2
	Arsénico (As)	93.7	8.0	33.5	11.1
	Boro (B)	14.7	12.1	32.7	9.6
	Bario(Ba)	78.1	25.8	27.7	30.3
	Berilio(Be)	0.44	0.1	0.13	0.16
	Calcio (Ca)	5774.5	5528.4	8577.4	4018.5
	Cadmio (Cd)	5.47	4.86	6.35	5.71
	Cesio (Ce)	30.8	6.3	12.0	11.4
	Cobalto (Co)	1.19	0.4	1.14	1.35
	Cromo (Cr)	2.35	0.87	0.88	3.88
	Cobre (Cu)	98.7	40	48.5	31.4
	Hierro (Fe)	12252.3	1811.3	5628.3	3797
	Mercurio (Hg)	<0.1	<0.1	<0.1	1.6
	Potasio (K)	11601.6	16144.5	23966.6	15399.4
	Litio (Li)	1.9	0.4	0.8	1.9
	Magnesio (Mg)	1241.2	605.3	1418.7	1056.2
	Manganeso (Mn)	644.33	131.74	739.44	158.38
	Molibdeno (Mo)	0.3	<0.2	<0.2	<0.2
	Sodio (Na)	49.8	323.1	23.5	113.6
	Niquel (Ni)	0.86	0.57	0.4	2.43
	Fósforo (P)	1580.8	989.1	1938.2	927.1
	Plomo (Pb)	436.25	80.47	209.20	76.9
	Antimonio (Sb)	12	0.6	5.3	0.6
	Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
	Estaño (Sn)	1.9	0.7	1.0	0.7
	Estroncio (Sr)	11.1	15.9	9.4	12.7
	Titanio (Ti)	111.94	32.81	66.61	52.97
	Talio (Tl)	1.1	1.1	0.4	0.8
	Vanadio(V)	11.06	2.08	3.74	6.37
Zinc (Zn)	337.6	107	298.0	106.5	
Uranio (U)	10.5	1.1	2.7	2.3	

Fuente: Servicios Analíticos Generales SAC.

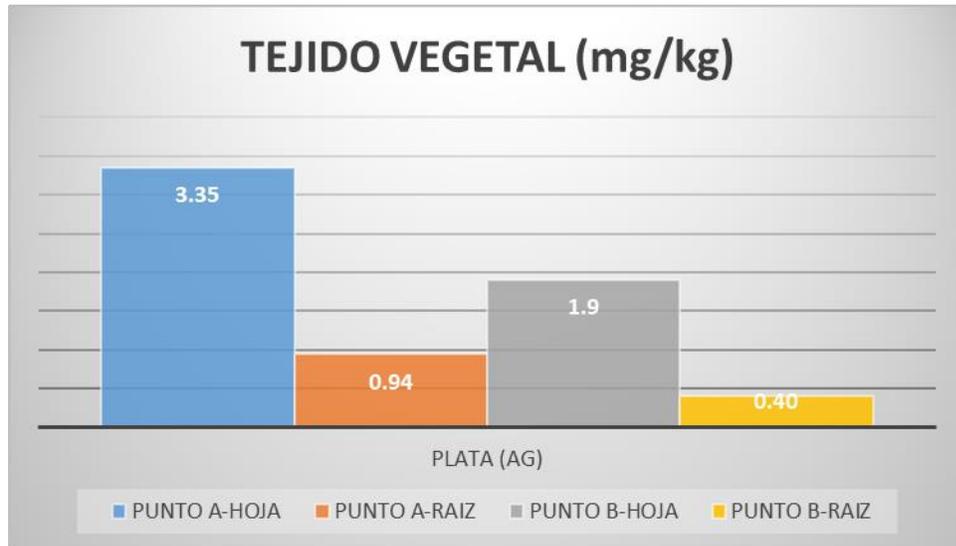
4.1.2 Resultados de Metales Pesados Capturados en la Relavera Quiulacocha

Para interpretar los resultados debemos precisar que se extrajeron dos plantas de la Especie Planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*), de los cuales Planta A (Hoja y Raíz), Planta B (Hojas y Raíz)

1. PUNTO A-HOJA
2. PUNTO A-RAIZ
3. PUNTO B-HOJA
4. PUNTO B-RAIZ

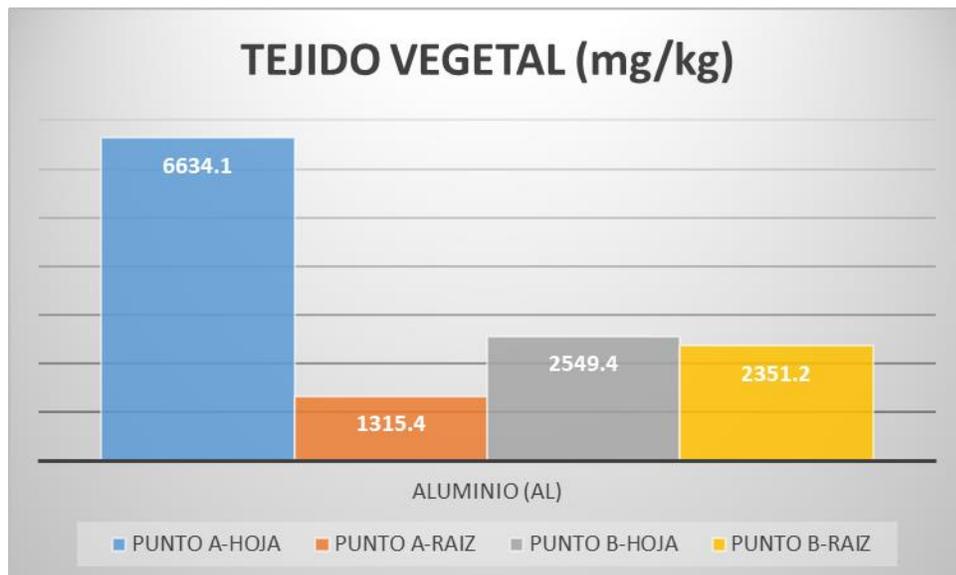
Teniendo los siguientes resultados que se expresa en mg/kg de los siguientes gráficos:

Gráfico N° 01: Presencia de Plata (Ag)



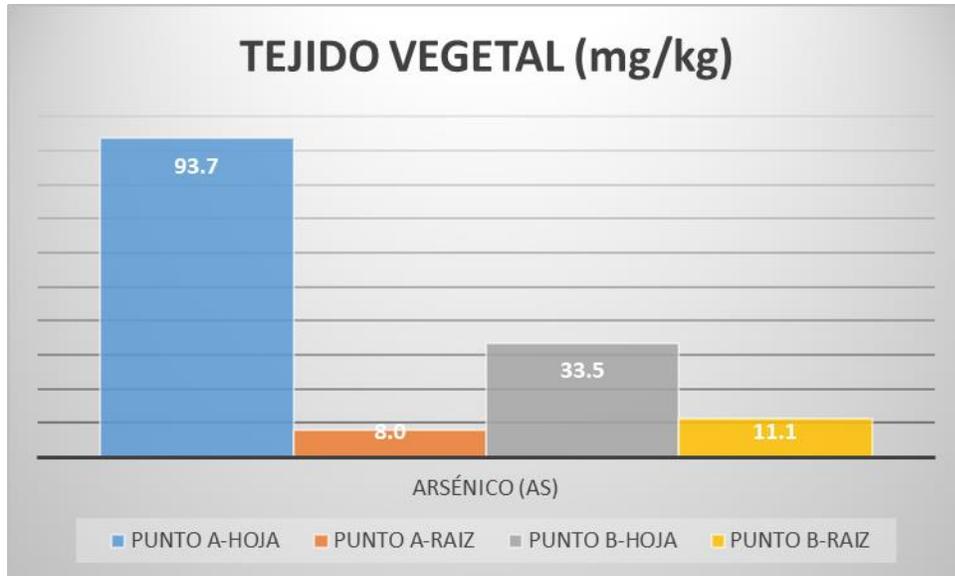
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 02: Presencia de Aluminio (Al)



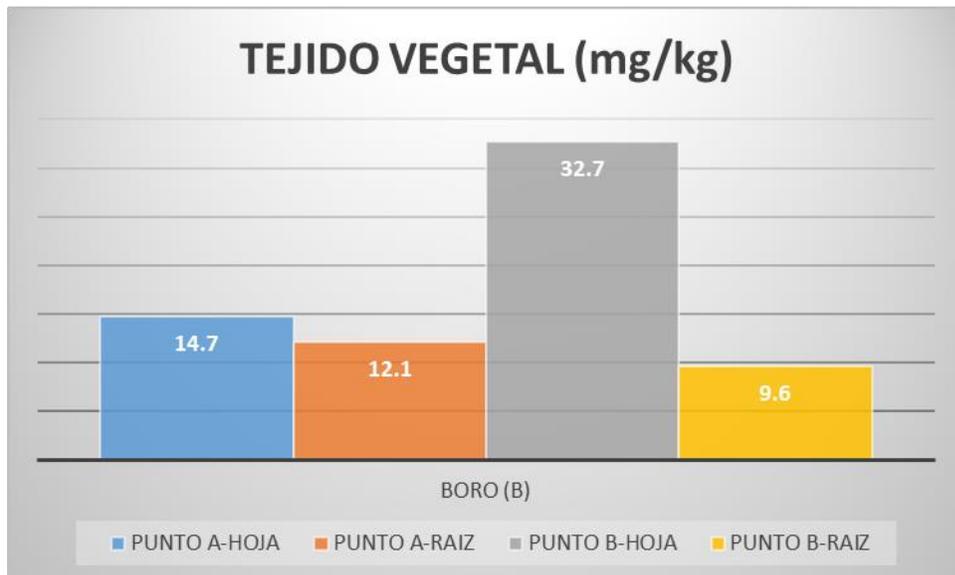
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 03: Presencia de Arsénico (As)



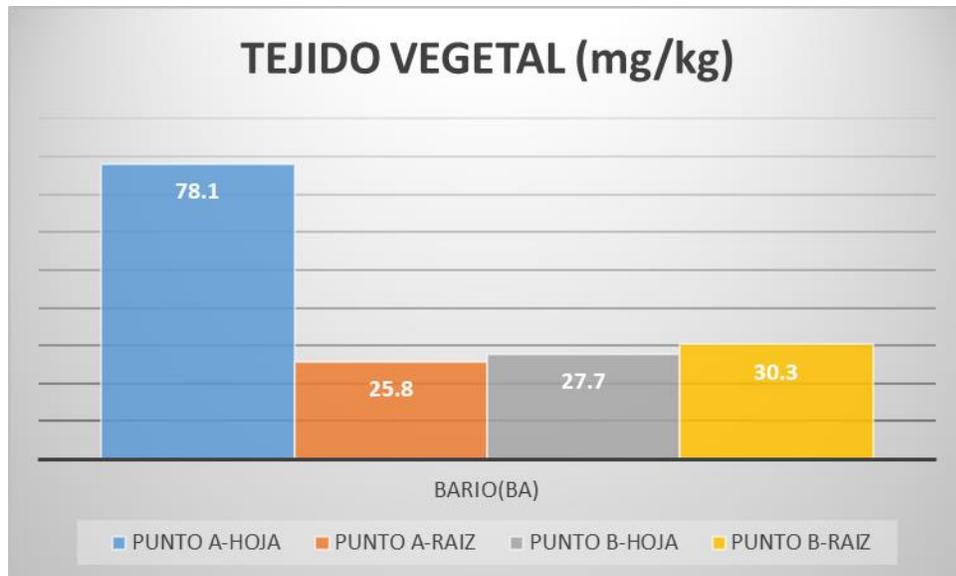
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 04: Presencia de Boro (B)



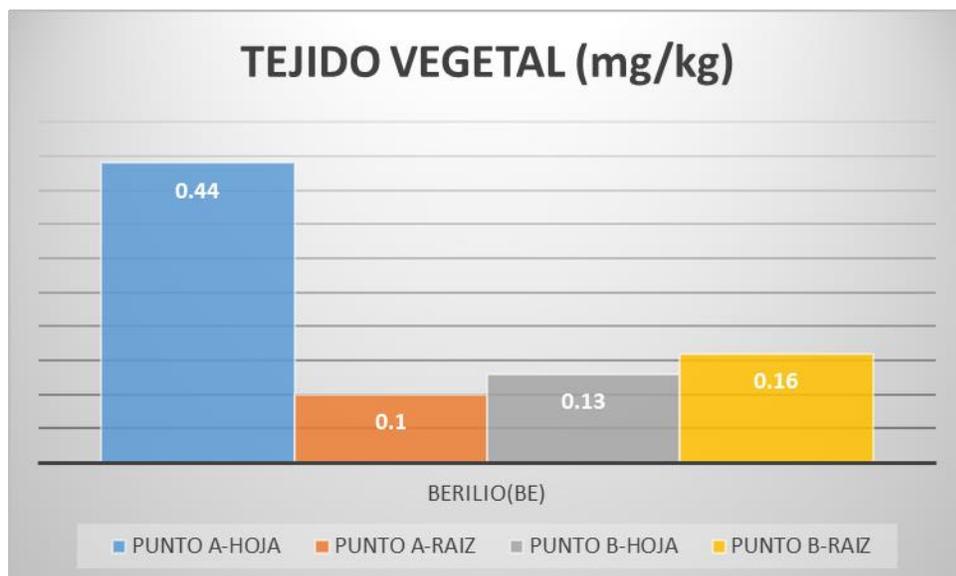
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 05: Presencia de Bario (Ba)



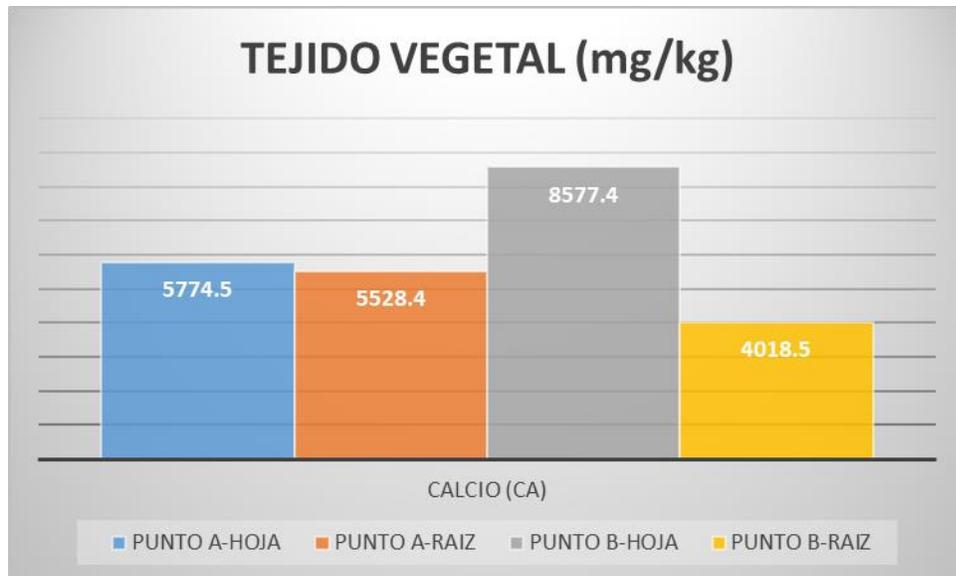
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 06: Presencia de Berilio (Be)



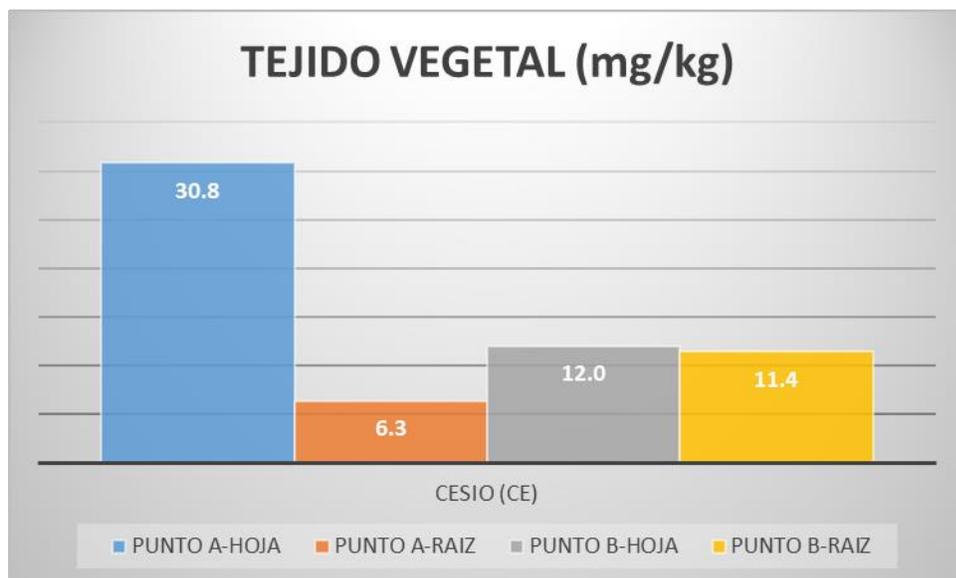
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 07: Presencia de Calcio (Ca)



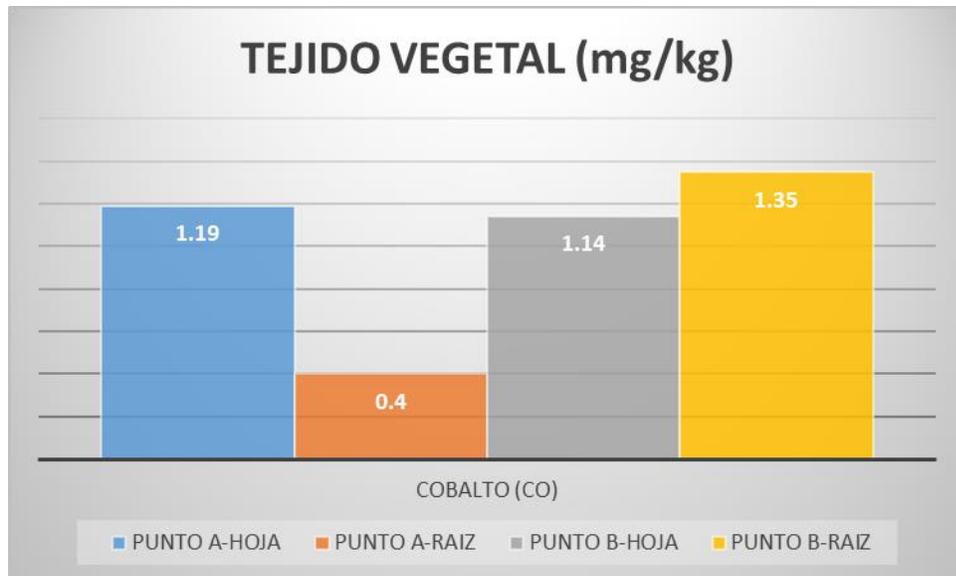
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 08: Presencia de Cesio (Ce)



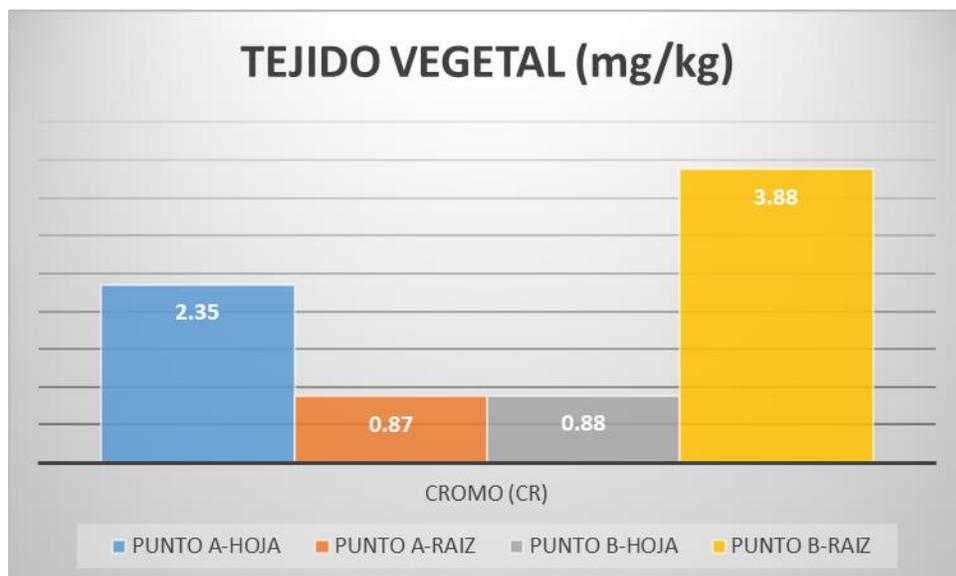
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 09: Presencia de Cobalto (Co)



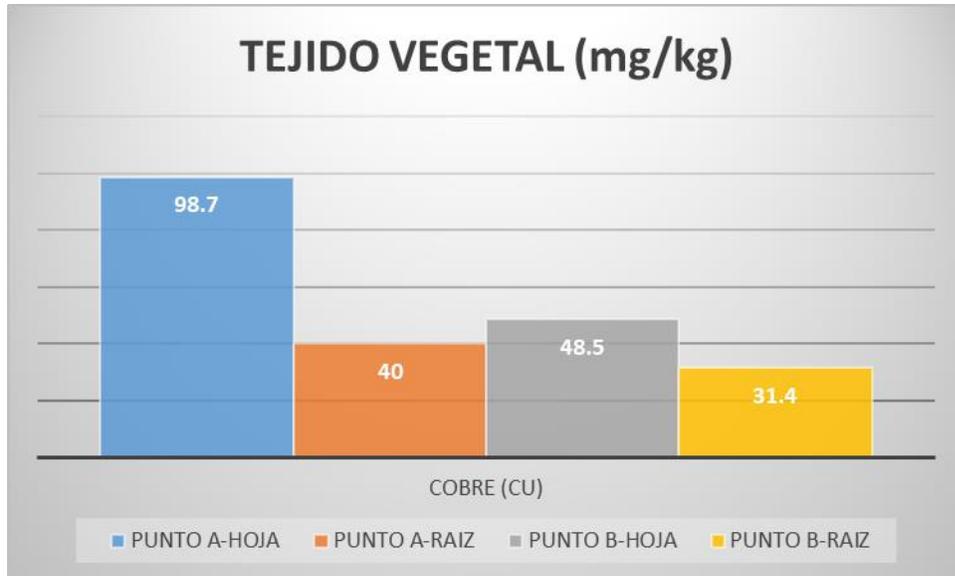
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 10: Presencia de Cromo (Cr)



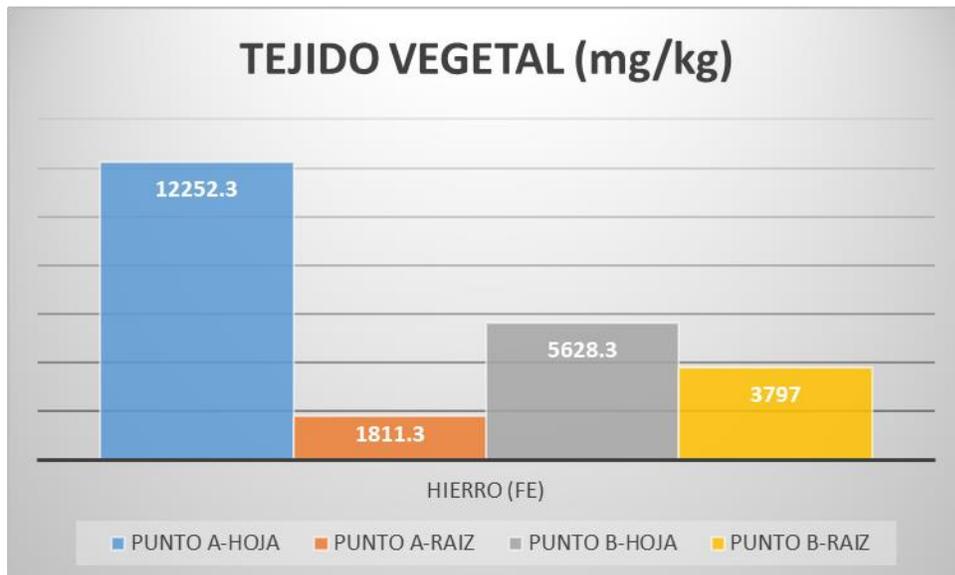
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 11: Presencia de Cobre (Cu)



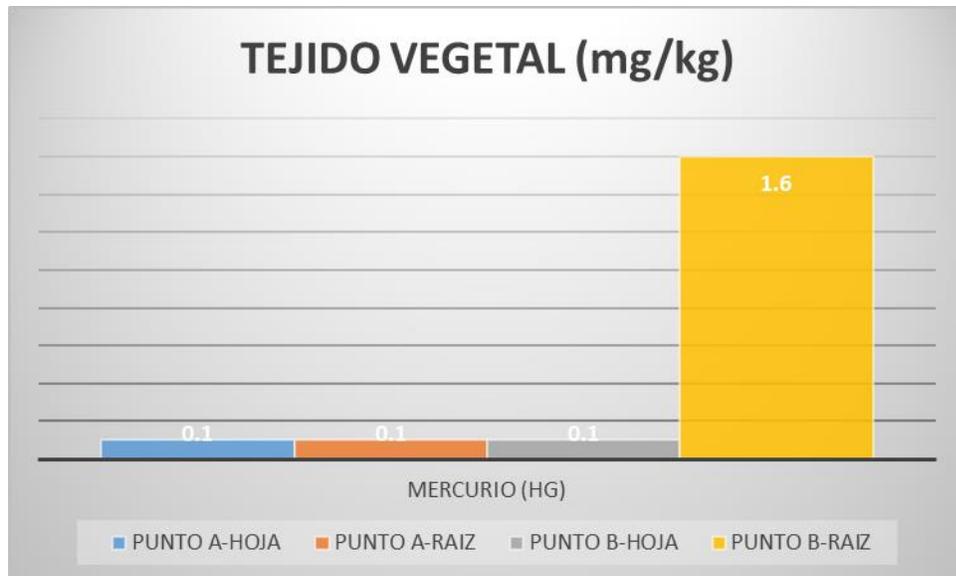
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 12: Presencia de Hierro (Fe)



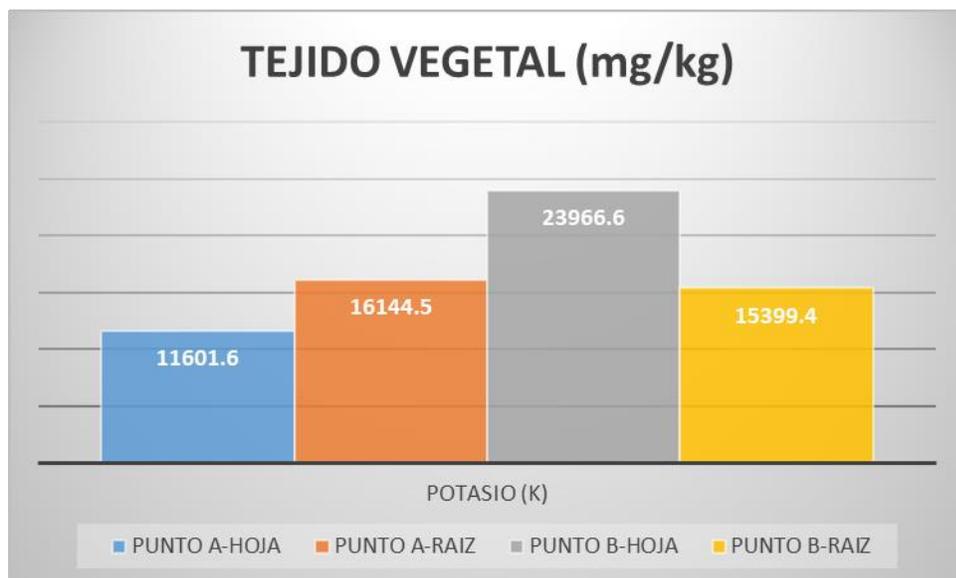
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 13: Presencia de Mercurio (Hg)



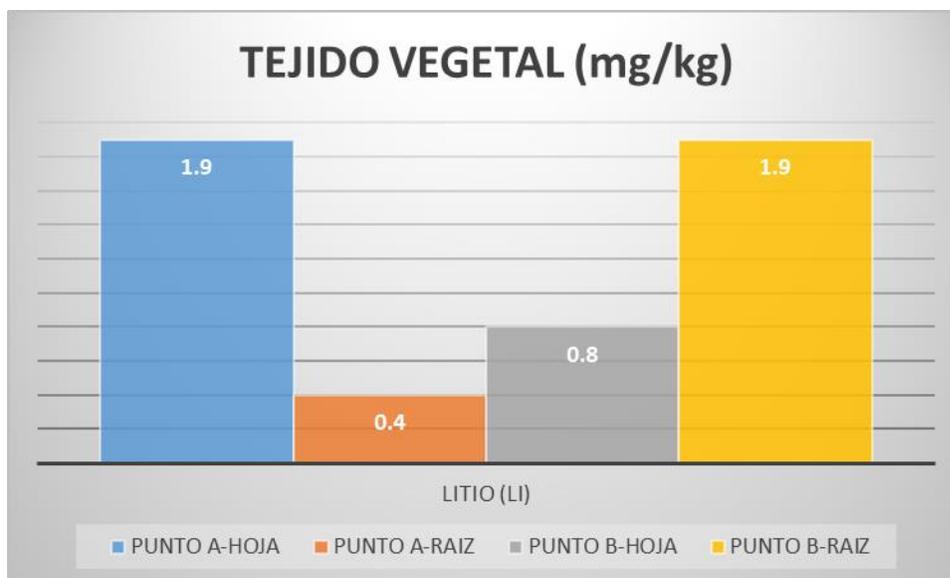
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 14: Presencia de Potasio (K)



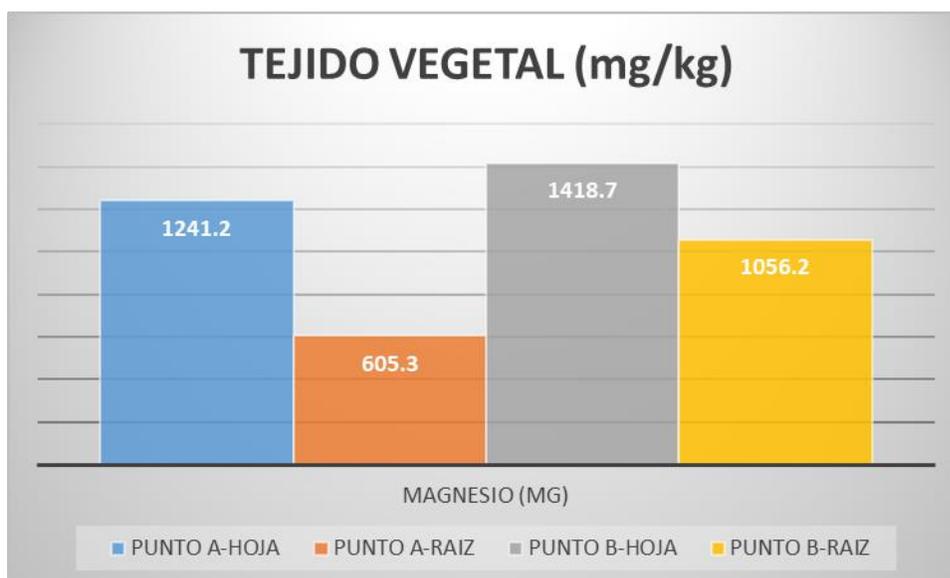
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 15: Presencia de Litio (Li)



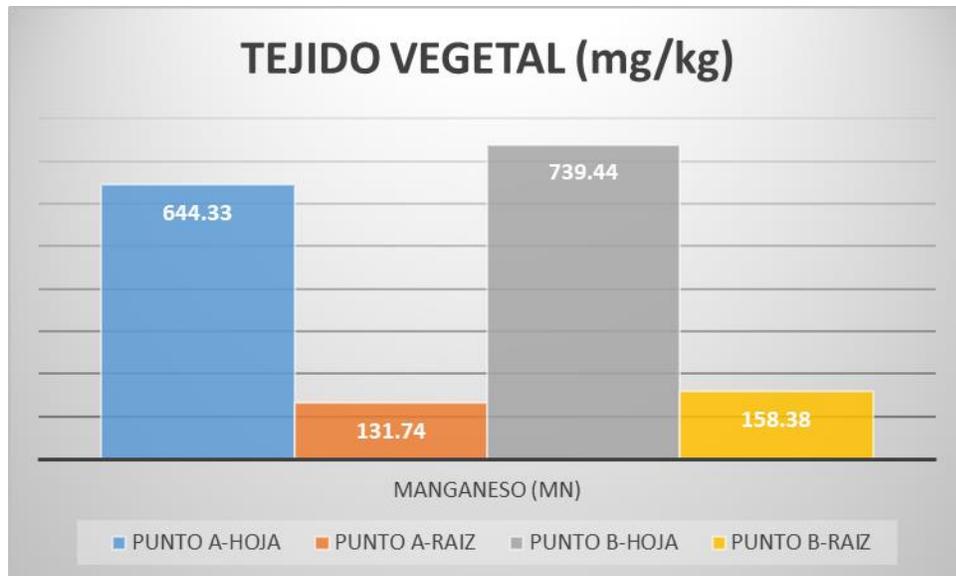
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 16: Presencia de Magnesio (Mg)



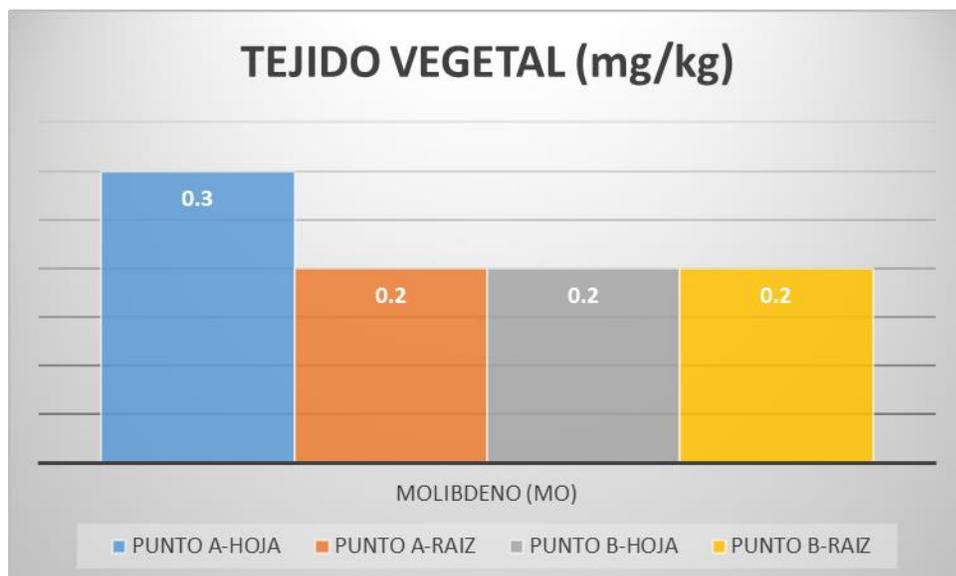
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 17: Presencia de Manganeso (Mn)



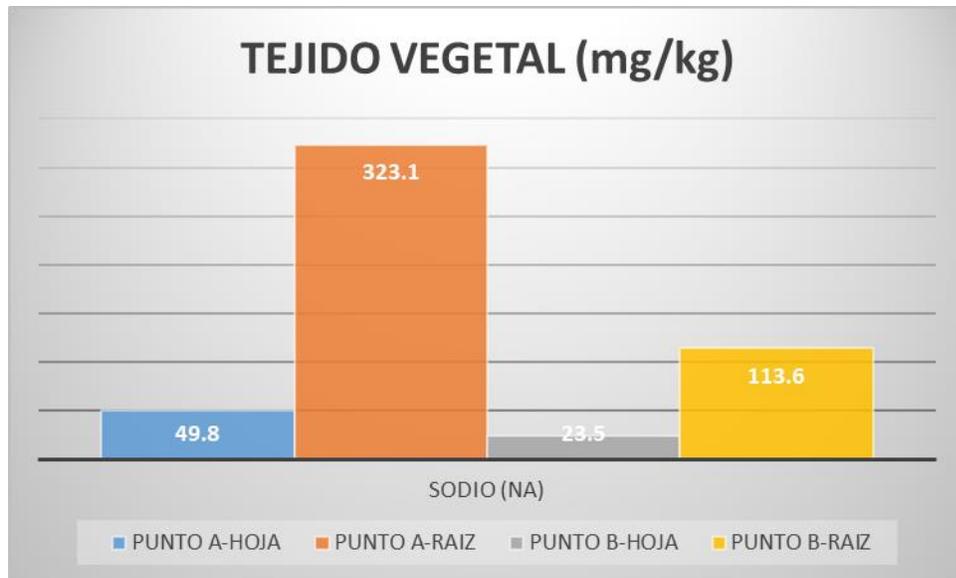
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 18: Presencia de Molibdeno (Mo)



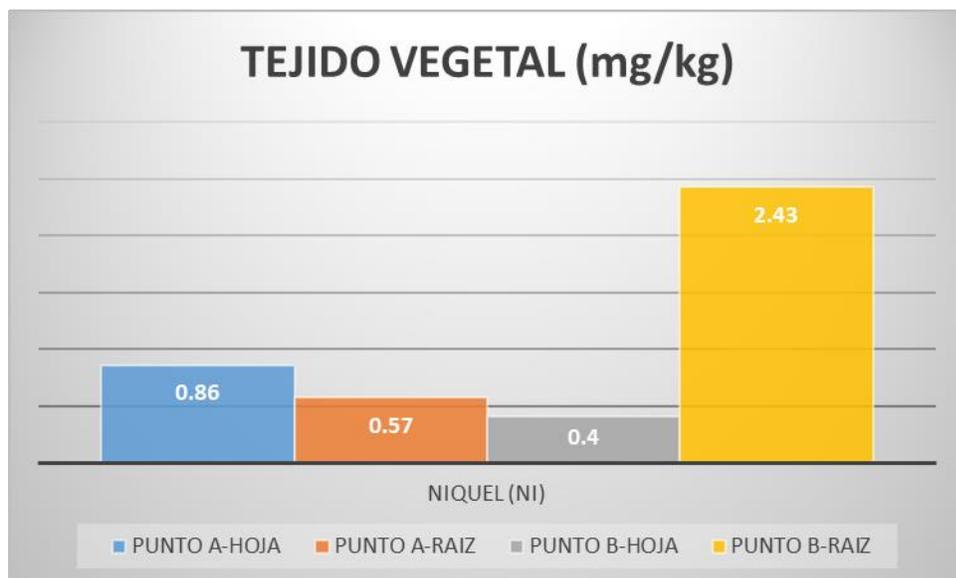
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 19: Presencia de Sodio (Na)



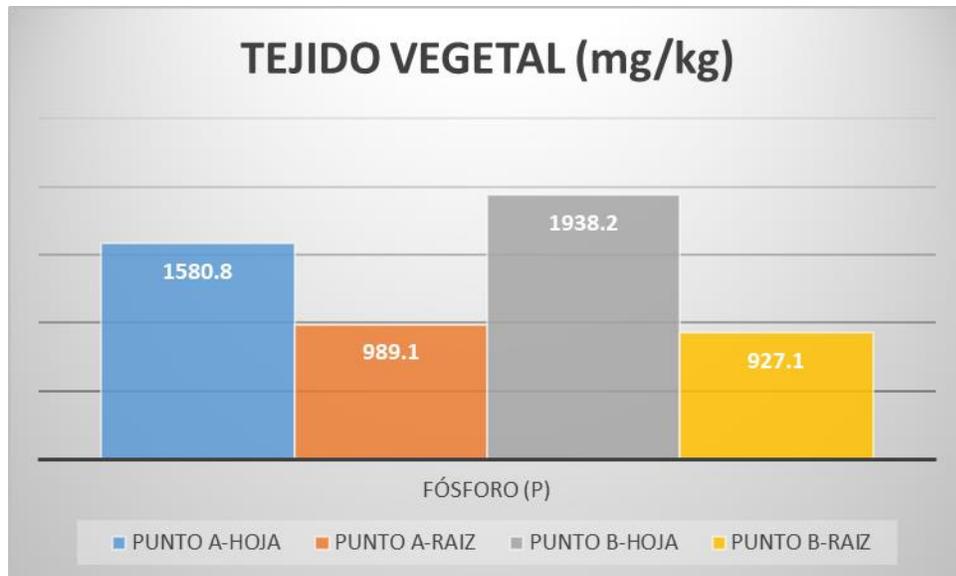
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 20: Presencia de Niquel (Ni)



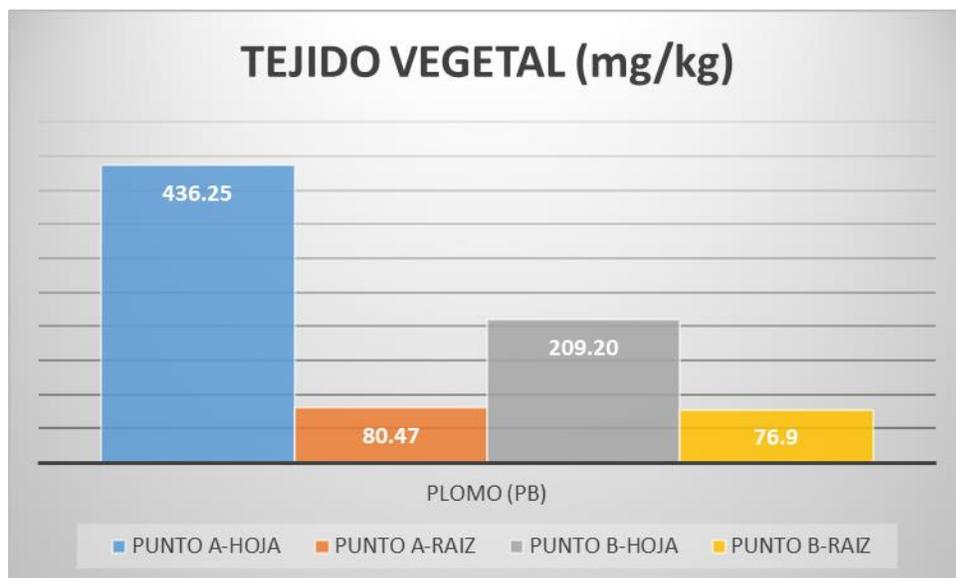
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 21: Presencia de Fosforo (P)



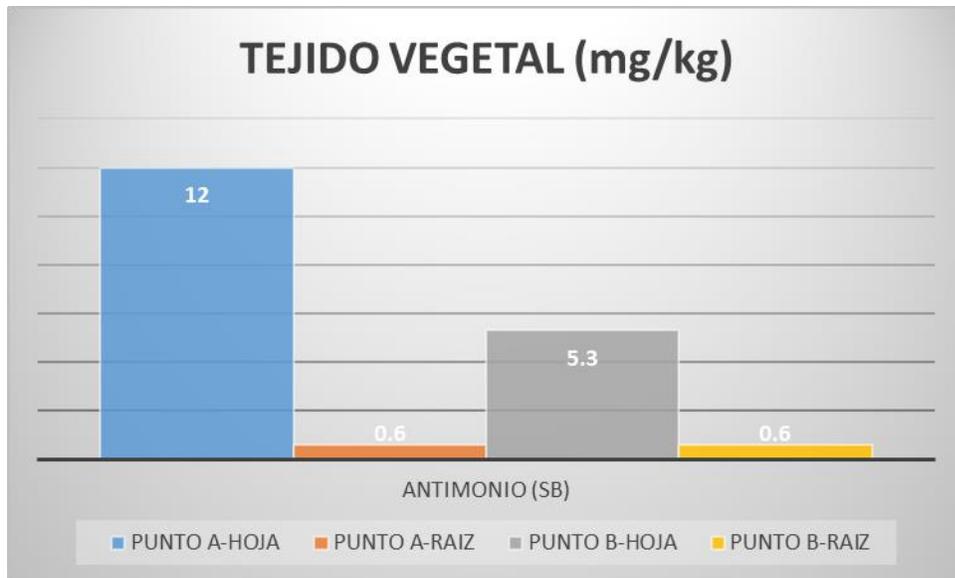
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 22: Presencia de Plomo (Pb)



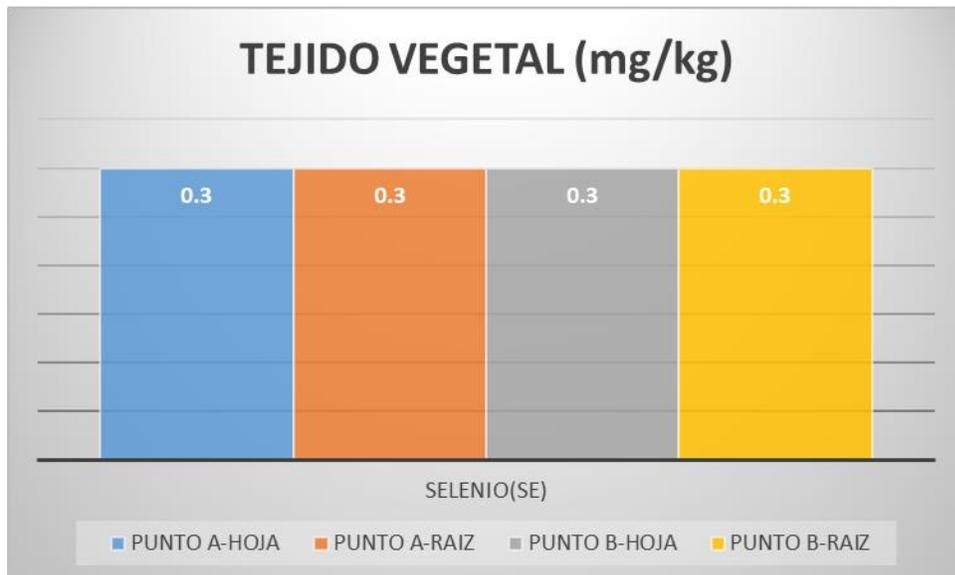
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 23: Presencia de Antimonio (Sb)



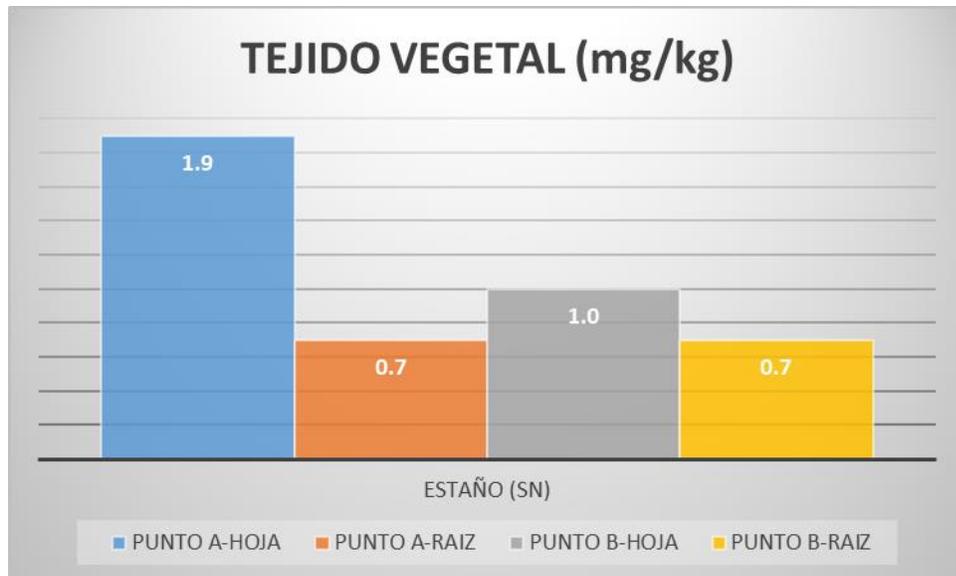
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 24: Presencia de Selenio (Se)



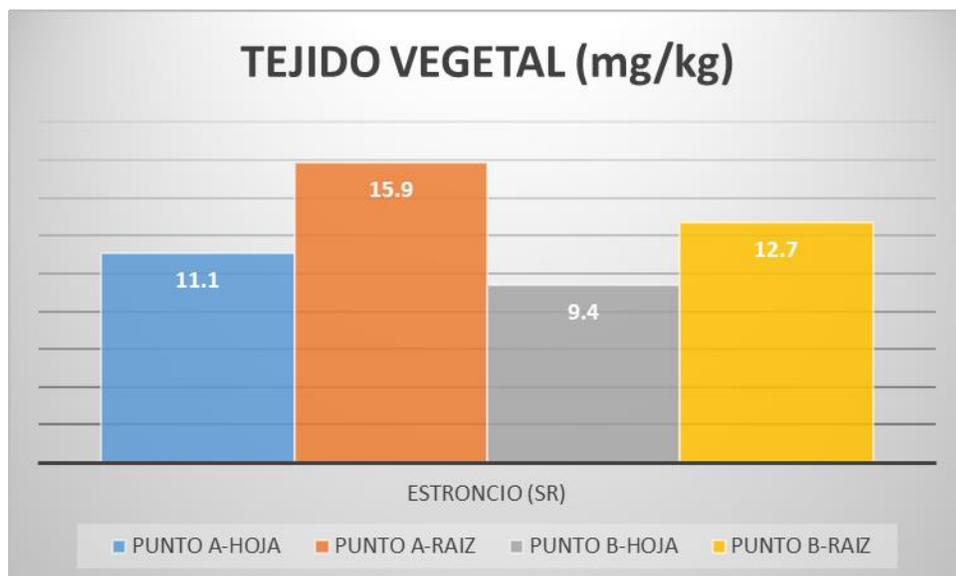
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 25: Presencia de Estaño (Sn)



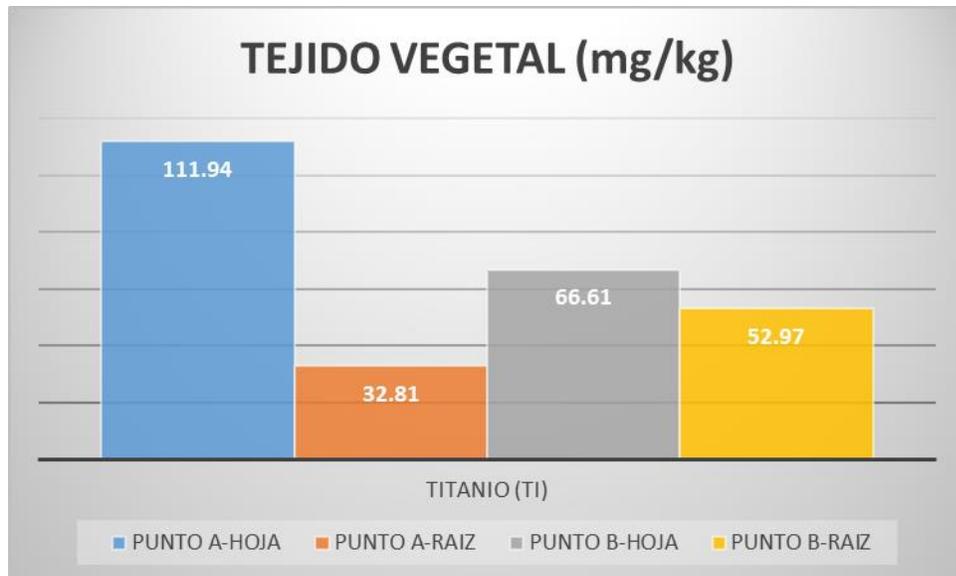
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 26: Presencia de Estroncio (Sr)



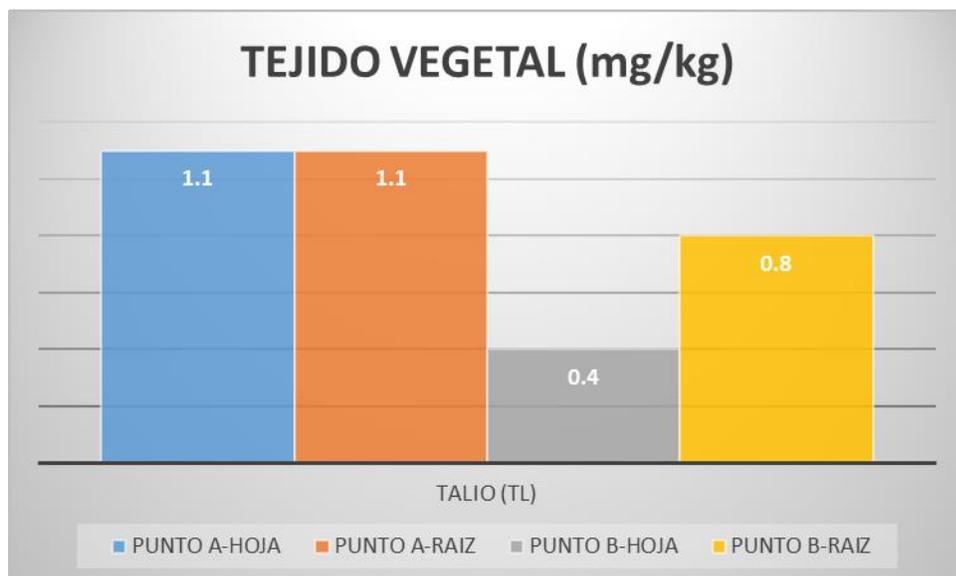
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 27: Presencia de Titanio (Ti)



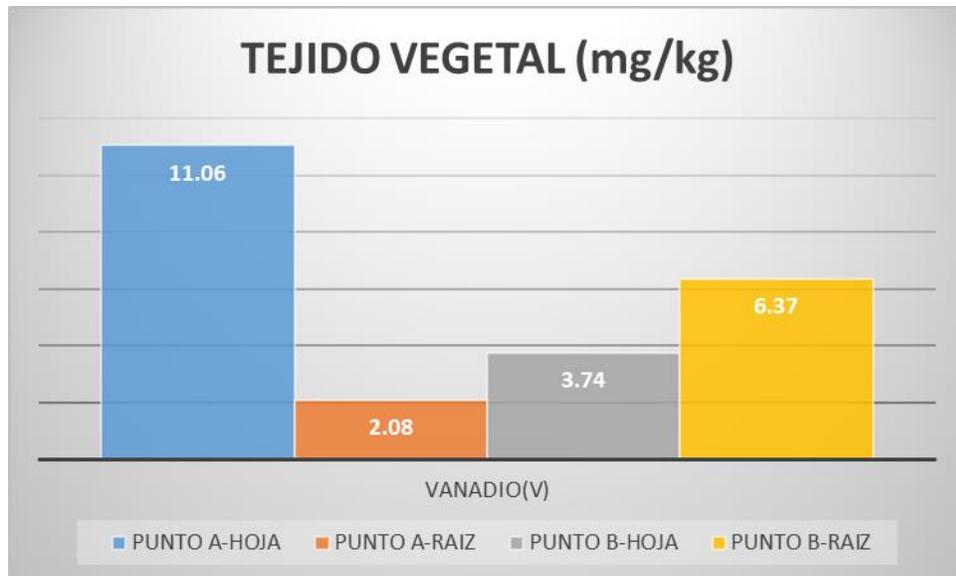
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 28: Presencia de Talio (Tl)



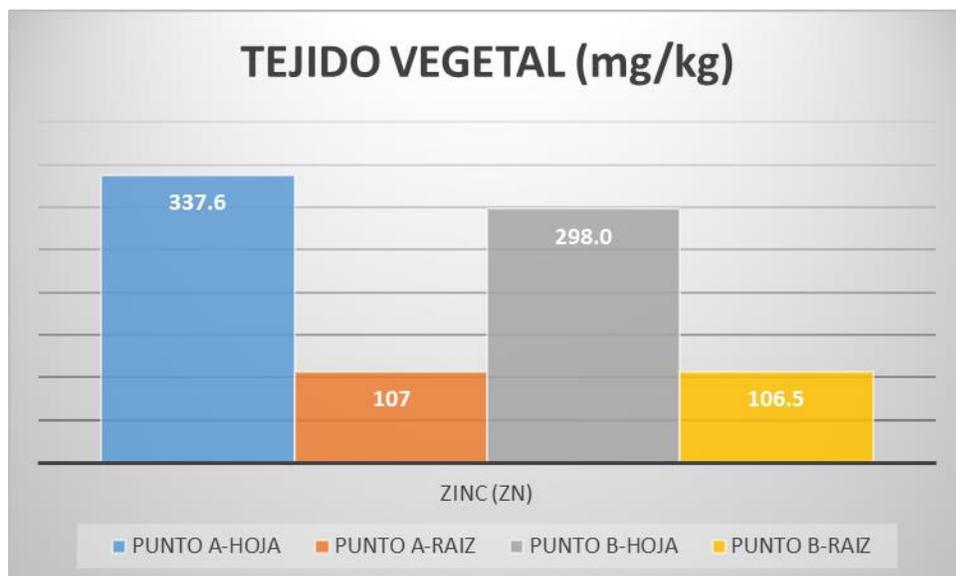
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 29: Presencia de Vanadio (V)



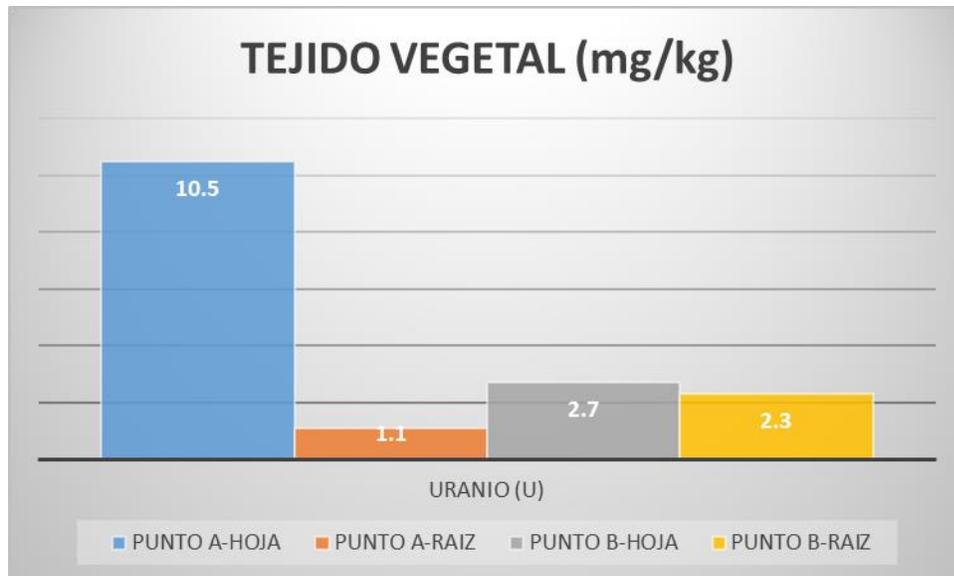
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 30: Presencia de Zinc (Zn)



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 31: Presencia de Uranio (U)



Fuente: Elaboración Propia

Interpretación de Resultados:

Los resultados representan que se pueden observar en la Tabla N° 2 y gráficos del N° 01 al 31, que la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) presenta dentro su composición o capturo en su proceso de extracción de metales los siguientes metales pesados entre mínima y buena concentración como son: Plata (Ag), Aluminio (Al), Arsénico (As), Boro (B), Bario(Ba), Berilio(Be), Calcio (Ca), Cadmio (Cd), Cesio (Ce), Cobalto (Co), Cromo (Cr),Cobre (Cu), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Potasio (K), Litio (Li), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Sodio (Na), Níquel (Ni), Fósforo (P), Plomo (Pb),

Antimonio (Sb), Selenio(Se), Estaño (Sn), Estroncio (Sr), Titanio (Ti), Talio (Tl), Vanadio(V), Zinc (Zn), Uranio (U).

Los resultados representan que se pueden observar en la Tabla N° 2 y gráficos del N° 01 al 3, la mayor concentración de metales pesados se puede determinar en el casos de la:

- **Plata (Ag) en Punto A-Hoja con 3.35 mg/kg, Punto B-Hoja con 1.9 mg/kg y Punto A – Raíz con 0.94 mg/kg, Punto B – Raíz con 0.40 mg/kg.**
- Aluminio (Al) en Punto A-Hoja con 6634.1 mg/kg, Punto B-Hoja con 2549.4 mg/kg y Punto A – Raíz con 1315.4 mg/kg, Punto B – Raíz con 2351.2 mg/kg.
- Arsénico (As) en Punto A-Hoja con 93.7 mg/kg, Punto B-Hoja con 33.50 mg/kg y Punto A – Raíz con 8 mg/kg, Punto B – Raíz con 11.1 mg/kg.
- **Cobre (Cu) en Punto A-Hoja con 98.7 mg/kg, Punto B-Hoja con 48.5 mg/kg y Punto A – Raíz con 40 mg/kg, Punto B – Raíz con 31.4 mg/kg.**

- **Fierro (Fe) en Punto A-Hoja con 12252 mg/kg, Punto B-Hoja con 5628.3 mg/kg y Punto A – Raíz con 1811.3 mg/kg, Punto B – Raíz con 3797 mg/kg.**
- Magnesio (Mg) en Punto A-Hoja con 1241.2 mg/kg, Punto B-Hoja con 1418.7 mg/kg y Punto A – Raíz con 605.3 mg/kg, Punto B – Raíz con 1056.2 mg/kg.
- Manganeso (Mn) en Punto A-Hoja con 644.33 mg/kg, Punto B-Hoja con 739.44 mg/kg y Punto A – Raíz con 131.74 mg/kg, Punto B – Raíz con 739.44 mg/kg.
- Plomo (Pb) en Punto A-Hoja con 436.25 mg/kg, Punto B-Hoja con 209.20 mg/kg y Punto A – Raíz con 80.47 mg/kg, Punto B – Raíz con 76.9 mg/kg.
- **Zinc (Zn) en Punto A-Hoja con 337.6 mg/kg, Punto B-Hoja con 298.0 mg/kg y Punto A – Raíz con 107 mg/kg, Punto B – Raíz con 106.5 mg/kg.**

En el caso en el relación al contenido de los relaves la plata, zinc, cobre y zinc la planta planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) está concentra buenas cantidades como se puede ver en la parte sombreado en negrita.

Asimismo si hacemos una diferencia donde se encuentra más concentrado a diferencia de las hojas o raíz, estas se puede ver que en las hojas se encuentran más concentrados los metales pesados a diferencias de la raíz en casi todos los casos de los metales analizados.

En la relavera se encuentra la pirita, lo cual dentro la pirita se encuentra el fierro (Fe) hasta en 60% en toda la relavera por lo que esto también representa en nuestro resultados dándonos en concentración más superior de metales pesados a diferencia otros metales identificados.

Asimismo podemos determinar que nuestra planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) es bioacumulador de metales que esto queda confirmado que si está en la capacidad de ser utilizado para la fitorremediación en espacio con contenido metálico.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la investigación ya concluida denominada **“TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE METALES PESADOS CON LA PLANTA YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) EN LA RELAVERA DE QUIULACOCHA DEL DISTRITO DE SIMÓN BOLÍVAR DE RANCAS”** los resultados muestran los siguientes:

Nuestra investigación pudimos determinar que la planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) es una planta considerada de Fitoextracción ya que los metales capturados están acumulados en las partes cosechables de las plantas y su eliminación del medio. Conocida también como Fitoacumulación, es la captación de metales contaminantes por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas, lo cual esto lo confirmamos en la investigación realizada.

Asimismo en la relavera por estudios realizados por CESEL ingenieros y Centro de Cultura Popular LABOR determinaron que se tiene metales de Hierro (Fe), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Zinc (Zn) y Plata (Ag), lo cual nuestra planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) pudo extraer estos metales en grandes proporciones acumulando en las raíces y hojas pero con mayor presencia en las hojas.

4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para nuestra investigación se planteó las hipótesis generales expresando lo siguiente:

“Utilizando la técnica de Fitorremediación se extraerá metales totales como plomo, zinc, fierro y cobre con la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas”.

Finalizada nuestra investigación podemos mencionar que la hipótesis es válida, ya que pudimos determinar que al realizar el análisis de las hojas y raíces la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) se pudo determinar la presencia de plomo, zinc, fierro, cobre y otro metales no identificados por CESEI ingenieros y el Centro de Cultura Popular LABOR en la relavera pero seguramente se encuentran en bajas proporciones.

La concentración de metales pesados en las hojas es mayor a diferencia de las hojas de la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) y estas se encuentran en miligramos.

CONCLUSIONES

Finalizo la presente investigación con lo siguiente:

1. El aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías. Por lo que, la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos como el caso de la relavera Quiulacocha.
2. Es un tratamiento de impacto regenerativo. Tecnología in situ, evita ruptura dramática del terreno y preserva el ecosistema. Genera cobertura “verde” estética y ecológica.
3. La planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) son hierbas o matas de hasta 2,5 m de altura, anuales, bienales o perennes, como se pudo determinar en la investigación se adaptan a esta altura del nivel de mar en referencia a la Ciudad de Cerro de Pasco.
4. Finalizado la investigación podemos determinar que nuestra planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) es bioacumulador de metales que

esto queda confirmado que si está en la capacidad para ser utilizado para la fitorremediación de espacio con contenido metálico, ya que demostró en nuestra investigación extrajo metales importantes como: Fierro (Fe), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Zinc (Zn).

RECOMENDACIONES

Concluida la investigación llevo a determinar las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda el uso de la planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) para el tratamiento de suelo con presencia de metales totales como Hierro (Fe), Plomo (Pb), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) a niveles superiores de 4000 m.s.n.m.
- Realizar la pruebas para el tratamiento de agua con presencia de metales totales vía la aplicación de la planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*).
- Difundir de la presente investigación a los profesionales de ingeniería ambiental, estudiantes y profesionales interesados en la materia a fin de profundizar y trabajo con la remediación de suelo con la aplicación de la planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*).

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Javier Paredes Mur de la Universidad Católica de Santa María (2015); Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros Urb. Yanahuara, Arequipa, Perú. Marzo.

B.A. Sepúlveda, O. Pavez, M. Tapia(2014). Fitoextracción de Metales Pesados Desde Relaves Utilizando Plantas de Salicornia Sp. Chile.

Enoc Jara-Peña, José Gómez, Haydeé Montoya, Magda Chanco, Mauro Mariano y Noema Cano (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Lima. Perú.

Patricia Rosario López Pino (2011) Fitorremediación en los Suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí – Lima. LIMA – PERÚ.

Medina Marcos, Katy Damacia y Montano Chávez, Yeidy Nayclin(2013) Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013.

René Ortiz Romero, Marcelino Jorge Aranibar Aranibar (2015). Plantas acumuladoras de metales en relaves mineros del altiplano de la región Puno. Perú. 09/11/2015.

J.M. Becerril, O. Barrutia, J.I. García Plazaola, A. Hernández¹, J.M. Olano², C. Garbisu (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. España. Mayo 2007.

Antonio López Lafuente. Biorremediación y fitorremediación en suelos contaminados(1998) España.

Ministerio del Ambiente (2016). Glosario de Términos Sitios Contaminados. Lima Perú. 2016.

Activos Mineros (2015). Análisis de Muestras de Quiulacocha encargado a CESEL ingenieros. Pasco. Perú.

Centro de Cultura Popular LABOR (2009). Evaluación de la Calidad de los Recursos Hídricos en la Provincia de Pasco y de la Salud en el centro Poblado de Paragsha. Pasco. Perú.

Páginas de Internet:

Páginas de Internet:

1. Senecio

<https://es.wikipedia.org/wiki/Senecio>

2. Metales pesados

<https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/terminos/MetalesPes.htm>

3. Tipos de Investigación y Diseño de Investigación

<http://metodologia02.blogspot.pe/p/operacionalizacion-de-variables.html>

4. Como Hacer la Formulación del Problema en una Tesis

<http://guiadetesis.blogspot.pe/2014/11/como-hacer-la-formulacion-del-problema.html>

5. Elaboración de los Proyectos de Investigación

<https://es.scribd.com/doc/256606/Elaboracion-de-una-Tesis>

6. Formulación del Problema

http://cursa.ihmc.us/rid=1177277211154_1735896367_5225/formulacion.pdf

7. La Formulación de un Problema

<https://es.slideshare.net/carmencordones2013/la-formulacion-de-un-problema-en-un-proyecto-de-investigacion>

8. Formulación del Problema de una Tesis

<https://www.youtube.com/watch?v=6Xpj6ti6v50>

ANEXOS

ANEXO N° 01

IMÁGENES DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA

**LA PLANTA YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) EN PROCESO DE
DESARROLLO EN LA RELAVERA QUIULACOCHA**



**MONITOREO DEL DESARROLLO DE LA PLANTA YALUZAI (*Senecio
rudbeckiaefolius*)**



VISTA DE LA RELAVERA QUIULACOCHA



MANTENIMIENTO DURANTE 9 MESES DE LA PLANTA YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*)



ANEXO N°2
INFORME DE EN ENSAYOS