

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

Facultad de Ciencias y Filosofía “Alberto Cazorla Talleri”



**ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ESPECIES VEGETALES CON
POTENCIAL BIORREMEDIADOR EN DRENAJES ÁCIDOS
DE ROCA Y RELAVES MINERALES DE LA CUENCA DEL
RÍO SANTA (ÁNCASH, PERÚ)**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADA EN
BIOLOGÍA**

Bach. Diana Alejandra Ñáñez Alcántara

LIMA – PERÚ

2016

ASESOR

Dr. Raúl A. Loayza Muro

JURADO EVALUADOR

PRESIDENTE

Dr. José Bauer

VOCAL

MSc. Jaime Languasco

SECRETARIO

MSc. Camilo Díaz

DEDICATORIA

Este trabajo tiene mucho esfuerzo, empeño y amor hacia lo que hago. Quiero agradecer por acompañarme en este proceso, en primer lugar a mi madre que siempre dijo que hacer lo que nos gusta puede costar pero da la mejor de las satisfacciones. A mi padre y mi hermana por estar preocupados sobre mis avances y mi futuro como bióloga. A Adolfo, mi novio, y Pampita, mi perrita, por no dejarme sola esas noches de amanecidas con sus mimos y cafecitos, dándome el apoyo que necesité siempre para avanzar. A mi mami Noemí por no dejar que los miedos me ganen y siempre estar conmigo. A Sarita mi hermana por ser tan noble y siempre darme palabras súper lindas. A mis amigas y amigos por celebrar conmigo cada avance y apoyarme siempre. A mí misma por no rendirme y siempre inclinarme por todo aquello que me hace sentir plena y feliz conmigo misma. Y por último, pero mi apoyo más fuerte, a mi querido asesor, Raúl Loayza, porque sin él no hubiera sido posible. Por darme la oportunidad de participar en el proyecto y todo el apoyo con la tesis en cada uno de los pasos, correcciones y avances. Por tenerme paciencia, sobre todo. A todos, ¡gracias!

Tienen un lugar eterno en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación tampoco hubiera sido posible sin la contribución de muchas personas, como el profesor Julio Palomino y Diego Justiniano de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) por ayudarme en el proceso de recolección e identificación de las muestras. Al profesor Camilo Díaz por dedicarme un espacio para ayudarme con la identificación de especies. A mi hermana Lucia y mi primo Sergio por su ayuda en Excel con algunas fórmulas que desconocía. A mi asesor por su perseverancia en la perfecta redacción de la tesis. Y un agradecimiento especial al proyecto 127-FINCYT-IB-2013, a cargo del Dr. Carlos Merino Méndez, ya que sin él no hubiera sido posible desarrollar esta tesis.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCIÓN--	1
II. ANTECEDENTES	5
2.1 .Descripción del área de estudio	6
2.1.1. Origen de los metales.....	12
2.1.2. Formación y geodinámica	18
2.1.3. Drenaje ácido de roca.....	21
2.1.4. Efecto del cambio climático en la movilización de metales.....	25
2.2. Actividad minera y pasivos ambientales en la cuenca del Río Santa	26
2.3. Diversidad de flora en ambientes impactados por metales	30
2.3.1. Mecanismos de concentración de metales en plantas.....	32
2.3.2. Perspectivas para la fitorremediación de suelos contaminados por metales.....	38
III. HIPÓTESIS	46
IV. OBJETIVOS	47
4.1 Objetivo general.....	47
4.2 Objetivos específicos	47
V. MATERIALES Y MÉTODOS	48

5.1	Ubicación geográfica.....	48
5.2	Muestreo de suelos y plantas.....	50
5.3	Herborización e identificación taxonómica	53
5.4	Análisis químico de suelos y plantas.....	54
5.5	Cálculo del factor de bioconcentración.....	55
VI.	RESULTADOS.....	56
6.1	Identificación taxonómica de plantas.....	56
6.2	Análisis de metales en suelos.....	57
6.3	Análisis de metales en especies vegetales.....	60
VII.	DISCUSIÓN	62
VIII.	CONCLUSIONES	70
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	72
X.	ANEXOS.....	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Santa en el Perú.....	7
Figura 2. Localización de glaciares en la cuenca del río Santa.....	8
Figura 3. Mapa metalogenético de la región Áncash.....	14 – 15
Figura 4. Mapa de anomalías geoquímicas de la región Áncash	15 – 16
Figura 5. Mapa de Rocas intrusivas de la región Ancash.....	17 – 18
Figura 6. Mapa geológico de la cuenca del río Santa, región Áncash.....	19
Figura 7. Relación de minas activas e inactivas a lo largo de la cuenca del río Santa.....	28
Figura 8. Mapa de la región Ancash indicando las provincias donde se realizó el muestreo de especies vegetales con potencial biorremediador.....	49
Figura 9. Logaritmo del promedio de concentraciones de metales en suelo por lugar de muestreo en época húmeda	59
Figura 10. Logaritmo del promedio de concentraciones de metales en suelo por lugar de muestreo en época seca.....	60

LISTA DE TABLA

	Pág.
Tabla 1. Relación e información principal de minas activas e inactivas dentro de la cuenca del rio Santa.....	29 – 30
Tabla 2. Ubicación de los lugares de muestreo indicando distrito y provincia. DAR, drenaje ácido de roca.....	49
Tabla 3. Caracterización de las especies vegetales colectadas en las épocas húmeda y seca, de acuerdo a la acumulación de metales en sus tejidos.....	51
Tabla 4. Identificación taxonómica de especies vegetales colectadas por localidad en las épocas húmeda y seca.....	56
Tabla 5. . Concentración promedio (\pm D.E.) de metales en suelos por punto de muestreo en época seca y húmeda.....	58

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Cálculo del factor de bioconcentración (FBC) en plantas colectadas en las zonas de muestreo en época húmeda.....	82
Anexo 2. Cálculo del factor de bioconcentración (FBC) en plantas colectadas en las zonas de muestreo en época seca.	103

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo identificar plantas nativas con potencial para remediar suelos contaminados por metales en la cuenca del Río Santa (Áncash). Para ello, se muestrearon cuatro lugares contaminados por actividades de extracción o concentración de minerales (relaves de Huancapetí, Ticapampa, Santa Rosa de Jangas y Mesapata), y uno por drenajes ácidos de roca (DAR; Pastoruri), en época húmeda y seca de 2014. Se colectaron un total de 28 especies vegetales en época húmeda y 20 en época seca, que se separaron en parte aérea, raíz y sustrato. Los tejidos vegetales y sedimentos fueron analizados para determinar su contenido de metales, en especial de aquellos altamente tóxicos (arsénico, plomo, mercurio, aluminio y cadmio), y para determinar las características indicadoras, tolerantes o hiperacumuladoras de metales de las plantas. El aluminio, arsénico y plomo fueron predominantes en todos los puntos de muestreo, sobre todo en Huancapetí, tanto en época húmeda como en la seca. Mediante el cálculo del factor de bioconcentración, se seleccionaron 20 especies con características tolerantes y/o hiperacumuladoras para plata, aluminio, arsénico, boro, hierro, cadmio, cromo, cobre y plomo, entre las que se encuentran *Distichia muscoides*, *Juncus arcticus*, *J. bufonius*, *Penicetum clandestinum*, *Calamagrostis ligulata*, *C. glacialis* y *Huperzia crassa*. Los resultados sugieren que estas especies podrían ser utilizadas para recuperar suelos afectados por metales mediante sistemas artificiales de remediación.

ABSTRACT

This investigation aimed at identifying native plants with potential capacity for remediating metal polluted soils in the Santa River basin (Ancash). Four sites impacted by mining operations or mineral processing (tailings in Huancapetí, Ticapampa, Santa Rosa de Jangas and Mesapata), and one site impacted by acid rock drainage (Pastoruri) were sampled in the rainy and dry season in 2014. Twenty-eight plant species were collected in the rainy season and twenty in the dry season, and were separated in aerial part, root and soil. Plant tissues and soils were analyzed for their metal content, especially those highly toxic (arsenic, lead, mercury, aluminum and cadmium), and to determine metal indicator, tolerant or hyperaccumulating properties of plants. Aluminum, arsenic and lead were the predominant toxic metals at all sampling sites, showing the highest levels in Huancapetí, both in the rainy and the dry seasons. Calculation of the bioconcentration factor allowed selecting twenty plant species, including *Distichia muscoides*, *Juncus arcticus*, *J. bufonius*, *Penicetum clandestinum*, *Calamagrostis ligulata*, *C. glacialis* and *Huperzia crassa*, for their tolerant and hyperaccumulating properties towards silver, aluminum, arsenic, boron, iron, cadmium, chromium, copper and lead. The results suggest that these species could be used to recover metal polluted soils using artificial remediation systems.

I. INTRODUCCIÓN

La Cordillera Blanca representa el 70% de los glaciares tropicales del mundo, los cuales son una fuente importante de agua para el uso doméstico, agrícola y ganadero en ciudades de las cuencas media y baja del río Santa, el más importante de la vertiente del Pacífico. Sin embargo, su permanencia está siendo gravemente afectada por la reducción de la cobertura nubosa y el calentamiento de la atmósfera (Vuille y otros, 2008). Esto convierte a los Andes tropicales en uno de los ecosistemas más sensibles de la Tierra, donde los glaciares han retrocedido entre 20 y 30% desde 1970, y continúan derritiéndose a un ritmo de 3% por año (Mark y McKenzie, 2007; ANA, 2013).

El retroceso del hielo ha expuesto al ambiente formaciones geológicas ricas en minerales, produciendo su oxidación y lixiviación, y el consecuente drenaje ácido de roca (DAR) e incremento de los niveles de metales por encima de los estándares ambientales, desde las cabeceras de cuenca hasta los cuerpos de agua río abajo (DESA, 2002; Baraer, 2012). Esto se debe a que la Cordillera Blanca es un gran batolito de granodiorita de edad Terciaria superior, limitada por sedimentos del Cretáceo y por depósitos de morrenas glaciares del Pleistoceno. Localmente, la Cordillera Blanca está cubierta por sedimentos más antiguos y por rocas volcánicas de la Formación Calipuy (andesitas, dacitas y riodacitas). Esta formación alberga depósitos minerales de plata, plomo, zinc, cobre y oro controlados estructuralmente (DESA, 2002). Además la Cuenca del río Santa se puede dividir en zonas que han sido diferenciadas por su composición mineral para una descripción más exacta:

- La zona central, constituida principalmente por pirita y enargita, y en menores proporciones por tetraedrita y calcopirita.
- La zona de transición, donde predominan minerales tales como enargita, pirita, tetraedrita, apareciendo galena y esfalerita.
- La zona plomo-zinc, donde predomina la esfalerita y galena, pero con presencia importante de arsenopirita, tetraedrita, pirita y jamesonita.
- La zona de estibinas, que es un área relativamente nueva donde destaca la estibina y se encuentran concentraciones significativas de pirita y arsenopirita.

Esta rica composición metalúrgica de la cuenca nos dan una idea sobre la potencial contaminación inorgánica debido a la producción de DAR y movilización de metales al ambiente (MINEM, 1998). Esto deteriora de forma crítica la calidad y biodiversidad de los ecosistemas existentes en la cuenca, además de ser una amenaza para la salud humana, la agricultura y la ganadería.

Además de las consecuencias ocasionadas por los DAR, la actividad minera de pequeña escala y los desmontes, canchas de relave, tajos abiertos y efluentes abandonados por una intensa explotación pasada, originan el mayor impacto sobre la cuenca del río Santa (DESA, 2002). Estos pasivos han cubierto hectáreas de terrenos silvestres o de uso agrícola, limitando las especies que pueden habitarlos (Aduvire, 2006). En la actualidad, la actividad minera en la cuenca del río Santa está representada por la microminería polimetálica, que extrae entre 100 – 200 ton/día, la minería aurífera de oro libre en bajas concentraciones y la explotación del carbón tipo antracita. También se podría agregar la explotación de minerales no

metálicos utilizados en el procesamiento de los metálicos como las calizas en la producción de cal (MINEM, 1998).

La historia de la minería en la cuenca se remonta a antiguos trabajos coloniales, pasando por diferentes épocas de reactivación en los últimos 50 años impulsadas por el interés en metales industriales como plomo, plata, zinc y cobre (MINEM, 1998). También encontramos relaves que han sido cerrados, como el de Ticapampa (Recuay), pero otros siguen recibiendo el desecho de concentradoras de metales que funcionan en la zona, lo cual afecta el ambiente y la salud de poblaciones cercanas ya que no existe ningún tratamiento por parte de las mineras antes de ser expuestos al ambiente. Estos relaves, además de una elevada concentración de metales, contienen sulfuros que al oxidarse producen ácidos, y que al igual que los DAR pero en mayor escala, pueden llegar a los ríos por lixiviación o erosión eólica (MINEM, 2013).

A lo largo del tiempo, la flora nativa ha colonizado zonas impactadas por desechos metálicos, adaptándose a concentraciones que superan los límites máximos permitidos, lo que ha despertado el interés por evaluar su potencial uso para la recuperación de estos lugares (Padilla y otros, 2009). Un método eficiente de depuración de aguas ácidas y suelos impactados por metales usado a nivel mundial son los humedales o wetlands artificiales, que se basan en la acción sinérgica de plantas, bacterias y sustrato orgánico de los humedales naturales para recuperar el pH de los drenajes ácidos e inmovilizar los metales a través de la estabilización, sedimentación, adhesión, acumulación, transformación y precipitación. Actualmente los humedales artificiales son utilizados como sistemas depuradores en diversos países como Dinamarca, Alemania, Reino Unido, Francia, España,

Austria, Suiza, Bélgica, Luxemburgo, Holanda y Suecia, mediante los sistemas Flujo libre y Superficiales, donde el agua a tratar circula por encima del sustrato (Anderson, 1995; Palomino y otros, 2005). La comunidad vegetal presente en humedales naturales de la Cordillera Blanca muestra un gran potencial de adaptación a elevadas concentraciones de metales y acidez, lo que contribuye a la notable recuperación del ambiente. Entre las especies vegetales con potencial remediador en esta región, y que han sido utilizadas para el tratamiento de drenajes de relaves y desmontes mineros, se encuentran las familias Poaceae, Cyperaceae, Juncaceae y Plantaginaceae (Palomino y otros., 2008). La implementación de humedales artificiales basados en la diversidad vegetal nativa representaría un aporte novedoso, de bajo costo de operación y fácil manejo para solucionar el problema de la calidad del agua en la cuenca del río Santa.

Tomando en cuenta estos antecedentes, la presente investigación tuvo como objetivo principal la identificación de plantas nativas con potencial biorremediador y su caracterización como indicadoras, tolerantes o hiperacumuladoras de metales. Para ello, se realizó colectas de plantas en desmontes y relaves mineros, y en zonas de DAR, en época húmeda y seca, y se determinó la concentración de metales en los suelos, raíces y tejidos aéreos mediante análisis químicos.

II. ANTECEDENTES

La Cuenca del río Santa es la más extensa de la vertiente hidrográfica del océano Pacífico. Su principal afluente corre entre dos cordilleras, la Cordillera Negra al oeste y la Cordillera Blanca al este, donde se nota la presencia de glaciares.

Los glaciares tropicales abarcan una superficie de 2500 km², y tienen gran importancia por ser la principal fuente de recursos hídricos para uso agrícola, ganadero, industrial y consumo humano. Los glaciares constituyen las mayores reservas sólidas de agua dulce y por su gran sensibilidad al cambio climático, representan excelentes indicadores de la evolución del clima (Pouyaud y otros, 2003).

En Sudamérica, la mayoría de los glaciares tropicales están ubicados en la Cordillera de los Andes: 71% en Perú, 19% en Bolivia, 4% en Ecuador y 4% en Colombia. Estos glaciares presentan un retroceso acelerado desde mediados de los años 70, y aquellos ubicados por debajo de los 5500 msnm probablemente desaparecerán en 20 o 30 años. En 1970 existían en el Perú 18 grandes áreas glaciares o cordilleras que cubrían una extensión de 2041,85 km² (HIDRANDINA S.A, 1989). Cuarenta años después del primer censo de glaciares esta extensión se ha reducido en un 42.64% teniendo una extensión con la nueva medición de 19 cordilleras de 1298.59 km² (ANA, 2014). La tendencia al retroceso de los glaciares andinos se ha amplificado desde finales de los años setenta, período en el que el fenómeno climático conocido como El Niño se hizo más frecuente (Pouyaud y otros, 2003).

En la actualidad, el censo nacional de la ANA reporta 2679 nevados con una superficie de 1298.59 km² y 8355 lagunas con una superficie de 916.6 km² a lo largo de nuestros Andes, con una mayor concentración en la Cordillera Blanca (ANA, 2014).

La cuenca del río Santa es importante ya que la buena planificación y gestión de sus recursos hídricos provee de agua a los proyectos hidroenergéticos Chavimochic y Chincas, cuya principal producción es para la agro exportación, y fuente de agua potable para las regiones de Ancash y La Libertad (Pouyaud y otros, 2003).

2.1 Descripción del área de estudio

La cuenca del río Santa, la más extensa de la vertiente Occidental de la Cordillera en el Perú, se extiende a través de la costa central del Perú con una longitud de 320 km y ancho promedio es de 38 km, en el sector septentrional del departamento de Áncash. Posee una superficie total de 12005.50 km² y un área de recepción de 11910 km² hasta la estación hidrológica “Puente Carretera”, ubicada en la parte más baja de la cuenca, perteneciente a la Región Hidrográfica del Pacífico, como parte de la Unidad Hidrográfica 137 (ANA, 2008). Se ubica entre los 10°08' y 8°04' de Latitud Sur y los 78°38' y 77°12' de Longitud Oeste, y posee altitudes desde el nivel del mar hasta los 6768 msnm, correspondiente al Nevado Huascarán (Villanueva, 2011). Políticamente, comprende los territorios correspondientes a las regiones de Áncash y La Libertad, con 12 provincias y 69 distritos.

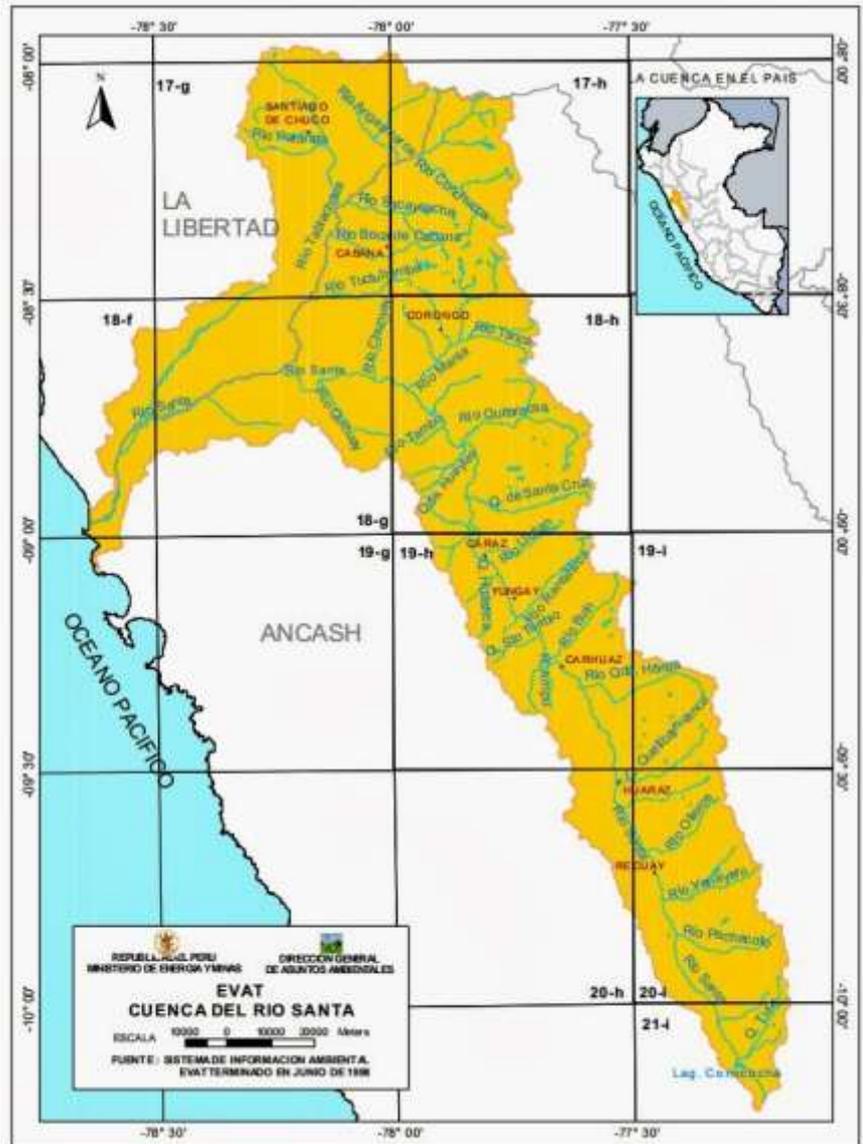


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Santa en el Perú (MINEM, 1998).

La forma accidentada de la cuenca del río Santa se debe a su desplazamiento entre dos cordilleras, la Cordillera Negra al oeste y la Cordillera Blanca al este. La cuenca se origina en la Laguna Aguash, que se encuentra en el extremo sur-este del Callejón de Huaylas y vierte sus aguas a través del río Tuco en la Laguna Conococha. Cuenta con una longitud de 316 km desde su nacimiento hasta su desembocadura, presentando una pendiente promedio de 1.4%, la que se pronuncia

en el sector de 13 km de longitud, comprendida entre las desembocaduras de las quebradas Cedro y Quitaracsa, denominado “Cañón del Pato” alcanzando una pendiente del 4%. El recorrido del río Santa se realiza en un valle de origen tectónico, el cual se encuentra envuelto por las Cordilleras Blanca y Negra. Su escurrimiento superficial tiene origen en las precipitaciones de la cuenca alta y el deshielo de la Cordillera Blanca, manteniendo una considerable descarga en el Océano Pacífico aun en época de estiaje (caudal mínimo del río en tiempo de sequía), siendo así uno de los ríos más regulares de la Costa Peruana (MINEM, 1998).

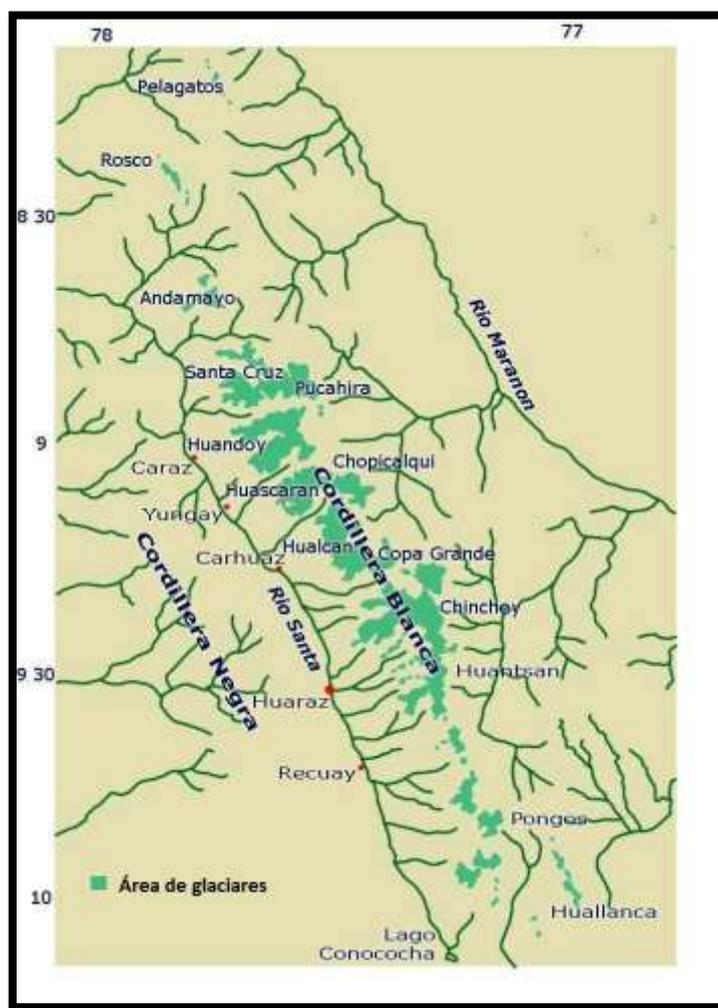


Figura 2. Localización de glaciares en la cuenca del río Santa (Trek Peru, 2016).

En la figura 2 se puede observar la extensión de la cuenca del río Santa, el área cubierta por nevados y sus ríos principales. La abundancia de glaciares es notoria en la Cordillera Blanca, así como su ausencia en la Cordillera Negra (Pouyaud y otros, 2003). Ambas cordilleras se unen a la altura de la laguna de Conococha, en el extremo sur de la cuenca.

Las variadas altitudes dentro de la cuenca del río Santa y en ambas Cordilleras originan que haya una variedad de climas y ecosistemas:

- Sobre los 3500 msnm, encontramos el ecosistema de páramo y tundras, donde predomina el clima frío y húmedo, pero seco para el invierno entre mayo y agosto.
- Entre los 1800 y 4200 msnm, en el ecosistema de matorrales y bosques, existe un clima seco en otoño, invierno y primavera; y templado y húmedo en verano, donde la precipitación anual oscila entre 250mm y 1200mm.
- Entre los 3000 y 3500 msnm predomina el clima seco durante gran parte del año, con menor frecuencia de lluvias en comparación con los valles y condiciones térmicas más o menos frías. Las lluvias se desarrollan durante el verano entre los meses de enero y abril, con su origen en la condensación del vapor de agua de masas de aire que al elevarse van descargando gran parte de esa humedad en valles interandinos (origen orográfico). Estas condiciones son propias de las ciudades de Recuay, Corongo, Cabana y Santiago de Chuco.
- En la zona más baja de la cuenca, comprendida entre los 0 a 1800 msnm, predominan zonas desérticas que presentan un clima árido y semicálido, donde predomina una agricultura intensiva bajo riego. En relación a su

temperatura se encuentra una temperatura máxima anual que varía entre los 18 y 24°C; y una mínima promedio anual entre los 16 y -4°C. Su precipitación pluvial anual es menor de 250mm y no aporta caudal. La variación en el tiempo dentro del ciclo hidrológico indica una marcada variación pluvial intermensual, donde las mayores precipitaciones, el 80%, se desarrollan entre los meses de diciembre y marzo. (Villanueva, 2011)

Aspectos político administrativos

La cuenca del río Santa comprende 2 regiones, 12 provincias y 69 distritos. El 80% de la superficie de la cuenca corresponde a la región de Ancash y el 20% a La Libertad. La cuenca del río Santa comprende también los territorios correspondientes a aproximadamente unas 160 comunidades campesinas (CC), entre las que destacan por su extensión, Roca, Cátac, Aquia, San Miguel de Utcuyacu, Ecash, Pedro Pablo Atusparia, Túpac Yupanqui, Vicos, Kiman Ayllu, Quitaracza, Huaylas, Cabana, Lacabamba, Pallasca y Lacramarca.

Administrativamente, la cuenca del río Santa pertenece a la Autoridad Administrativa del Agua IV – Huarney, Chicama, y comprende las Administraciones Locales del Agua de Huaraz, Santa-Lacramarca-Nepeña (ANA, 2009) y Moche-Viru-Chao, que son dependencias descentralizadas de la ANA, adscritas al Ministerio de Agricultura.

Geología y geomorfología

La geología de cuenca está conformada de una sucesión de rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas que varían en edad desde el Jurásico Superior hasta el

Cuaternario Reciente. Dentro de cada sucesión podemos encontrar diferentes formaciones geológicas como se explicará a continuación:

- Rocas volcánicas: constituidas por andesita piroclásticas y brechas de color gris verdoso, de textura porfirítica, característica principal de rocas ígneas (formadas al enfriarse el magma).
- Depósitos sedimentarios: poseen unidades antiguas de Jurásico Superior, Cretáceo Inferior y Cretáceo Superior.
- Las rocas jurásicas están representadas por lutitas de color negro, gris verdoso y rojizo, en ocasiones carbonosas pertenecientes al grupo de rocas Chicama.
- Rocas intrusivas: Se encuentran formando parte del Batolito andino y su afloramiento tiene gran amplitud.
- Posee estructuras geológicas como:
 - Plegamientos: Relacionados a las lutitas Chicama de naturaleza plástica y a las rocas volcánicas de la formación Casma.
 - Fallamientos: Son de tipo inverso como normal, siendo el fallamiento inverso el más importante, afectan a las rocas sedimentarias e intrusivas que afloran de la cuenca.

En relación a su historia sísmica el informe realizado por el MINEM en el año 1998 determino que los sismos más importantes que afectaron en algún grado a la cuenca fueron los producidos en la costa. De manera paralela describieron que la actividad sísmica corresponde a un área de baja concentración, con sismos entre 70 y 100 m de profundidad, pero con un tectonismo (desplazamiento geológico) considerable (MINEM, 1998).

A nivel geomorfológico la cuenca del río Santa posee un relieve muy escarpado, con pendientes superiores al 70% en ecosistemas de nivel tropical y tundra, y llano en zonas costeras con ecosistemas desérticos.

En su extensión se pueden diferenciar tres macro unidades geomorfológicas: Pampas Costeras, Flanco Occidental de los Andes y Altiplano. Las Pampas Costeras se desarrollan a manera de una faja paralela a la costa desde el nivel del mar hasta 200 msnm, y están constituidas por suelos aluviales, los cuales presentan un gran potencial edáfico para el desarrollo de la agricultura. El flanco occidental varía desde altitudes promedio de 200 a 3500 msnm. Se caracteriza por unidades geológicas de fuerte pendiente y por estar intensamente separadas por numerosos valles profundos. La unidad del altiplano se desarrolla en la sección oriental de la cuenca. Aproximadamente, desde los 3500 msnm se caracteriza por su topografía suave y más o menos ondulada (INGEMMET, 1989).

2.1.1. Origen de los metales

La mineralización comprende principalmente sulfuros como enargita, pirita, Galena, esfalerita, arsenopirita y tetraedrita. La mineralización de cobre se concentra en forma de sulfosales, la mineralización de plomo-zinc presenta en menor cantidad arsenopirita, estibina, pirita y marcasita.

El origen de los metales en la cuenca deriva de las diferentes formaciones geológicas que conforman. Las rocas sedimentarias y volcánicas son parte de formaciones geológicas de diferentes edades, que en su mayoría están compuestas de lutitas, cuarcita, microdiorita, piedra caliza calcárea, ardecitas, riodacitas, cuarzo y biotita; las cuales, por su composición, aportan al suelo diferentes minerales

encontrados en la cuenca, como silicio, potasio, sodio, aluminio, hierro, magnesio, calcio, bario, que son importantes para la industria minera y de construcción (Figuras 3 y 4). Estas rocas provienen de la Formación Chicama, perteneciente al Jurásico; F. Chimú, F. Santa, F. Carhuaz, F. Farrat, Volcánico Casma, F. Parihuanca, F. Chúlec, F. Inca y F. Pariatambo, pertenecientes al Cretácico inferior que posee secuencias volcánicas con intercalaciones de sedimentos marinos; F. Jumasha y F. Celendín, pertenecientes al Cretácico superior; F. Huaylas, Volcánico Calipuy y F. Yungay; pertenecientes al Terciario.

En el Cuaternario las rocas sedimentarias y volcánicas están representadas por depósitos entre los que se encuentran los Glaciares, que son acumulaciones morreicas producto de la desintegración de roca base por acción mecánica del hielo; los Fluvioglaciares, que están ligados a las morrenas y están compuestos por grava, y que han sido formados por suelos transportados desde permeabilidades y profundidades variables; los Fluviales, conformados por arena, grava y arcilla, importantes por su utilización en la agricultura como campos de cultivo; los Eólicos, conformados por arena fina y estar cercanos al litoral costero; y por último, los Marinos, conformados por restos de conchas y costras de sal.

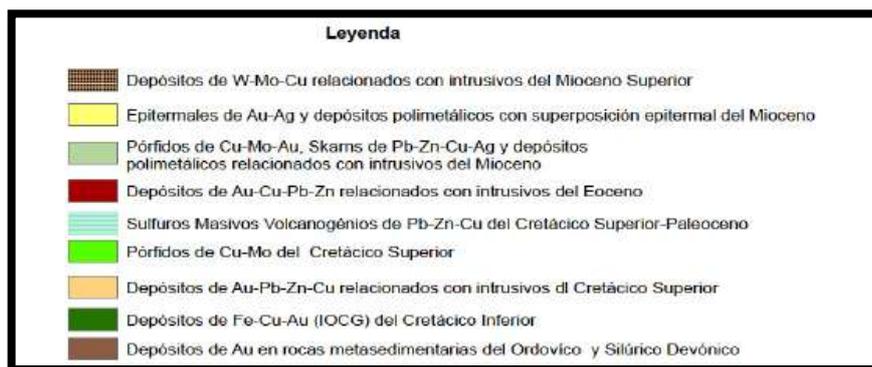
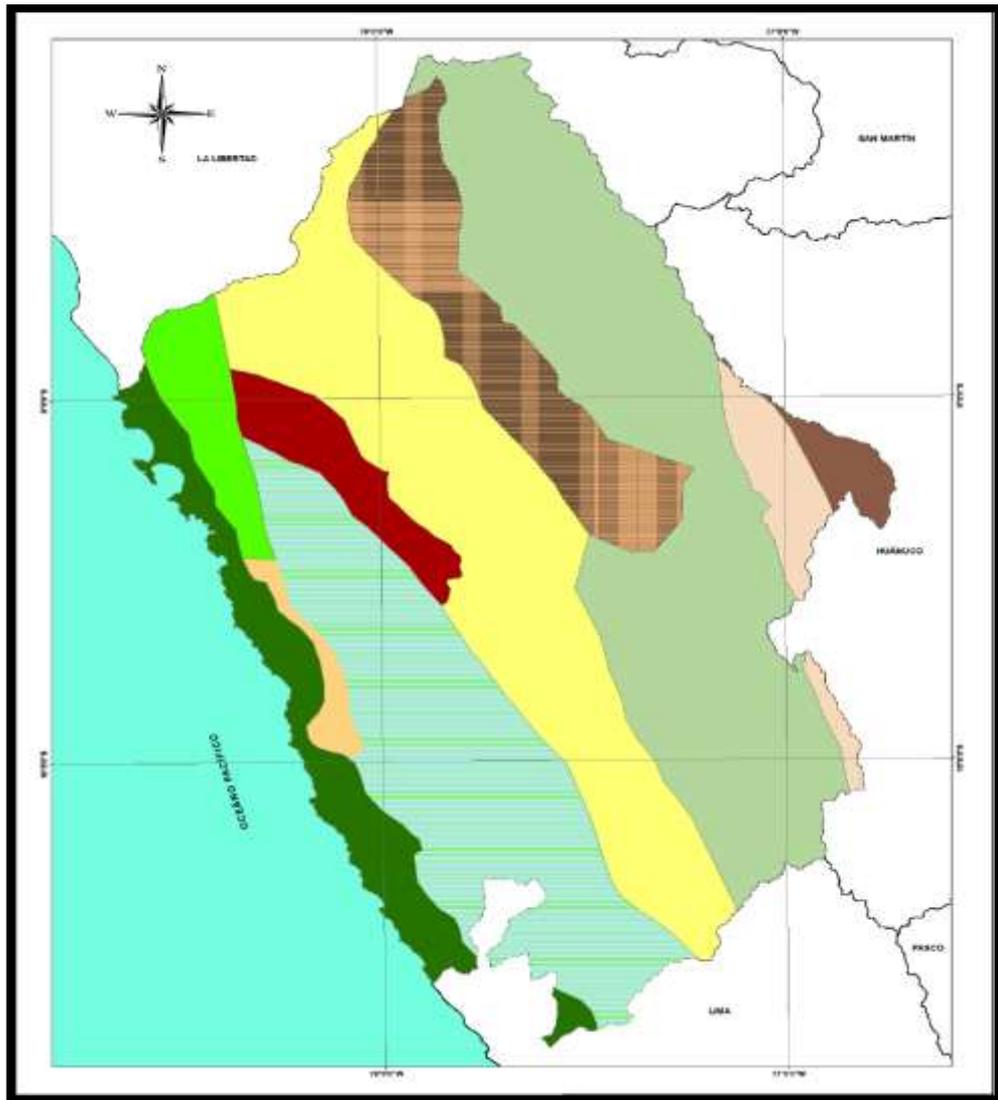
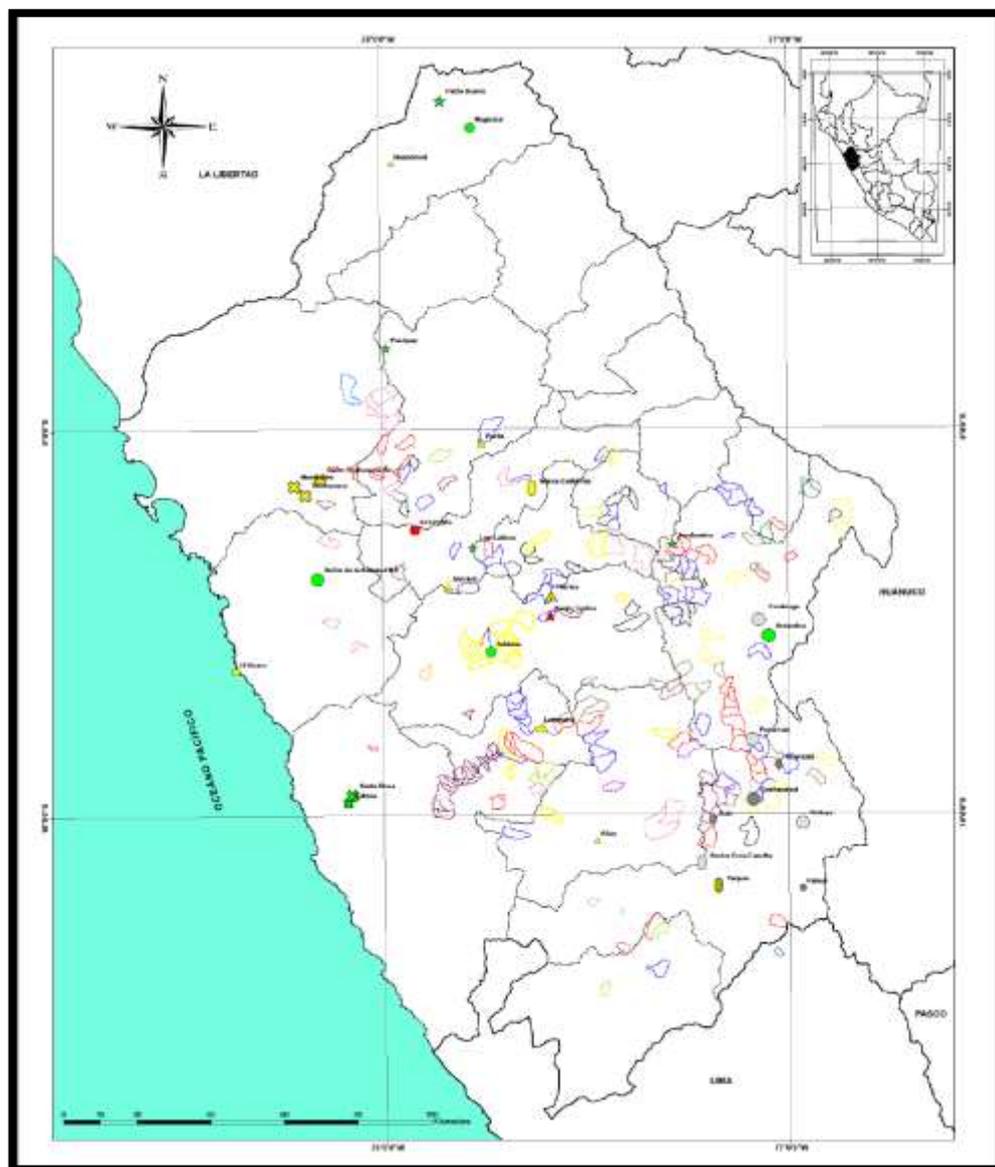




Figura 3. Mapa metalogénico de la región Áncash (INGEMMET, 2011).



Leyenda		
Au ± Hg, Cu, Co, Zn, Ag, Cd, W	Tipo de Depósito	Elemento Principal
Cu - Pb - Zn - Ag ± Sb, Cd, Au, V, Ni, W, As	Epitermal indiferenciado	Oro
Mo ± Ni, V, U, W	Epitermal alta sulfuración	Plata
Cu - Ag	Polimetálico con sup. epitermal	Cobre
Ag - Pb ± As, Sb, Au, Zn, W, Hg, Cu, Co	Skarn	Plomo
Co - Ni ± Cr, W, Cd, Cu	IOCG (Fe-Cu-Au)	Zinc
Sb ± Cu, Pb, Ag, As	Pórfido	
As ± Au, Pb, Ag, Sb, Cu, Zn, Cd	Vetas	
Cu, Mo ± Ag, As, Pb, Sb, U, Zn	Epitermal de baja sulfuración	
U, V, W ± Cr, Au	Mantos	
Hg, Sb ± Pb, Ag, Zn, As	Orogénicos	
Zn, Cd ± Cu, Ag, Sb, Au, Pb		
Pb ± As, Zn, W, Mn		
W		



Figura 4. Mapa de anomalías geoquímicas de la región Áncash. (INGEMMET, 2011)

Las rocas intrusivas ígneas que se encuentran en la cuenca son aquellas que forman parte de los batolitos y su antigüedad data desde el Cretáceo inferior y terciario (Figura 5). En el caso de la cuenca son dos los batolitos importantes: batolito de la Costa: compuesto por granodiorita, adamelita y tonalita; y batolito de la Cordillera Blanca: compuesto por granodiorita, anfibotita, monzogranito y granito en algunos lugares.

Las rocas de ambos batolitos están formadas por metales como sílice, aluminio, potasio, calcio, sodio (INGEMMET, 1989).

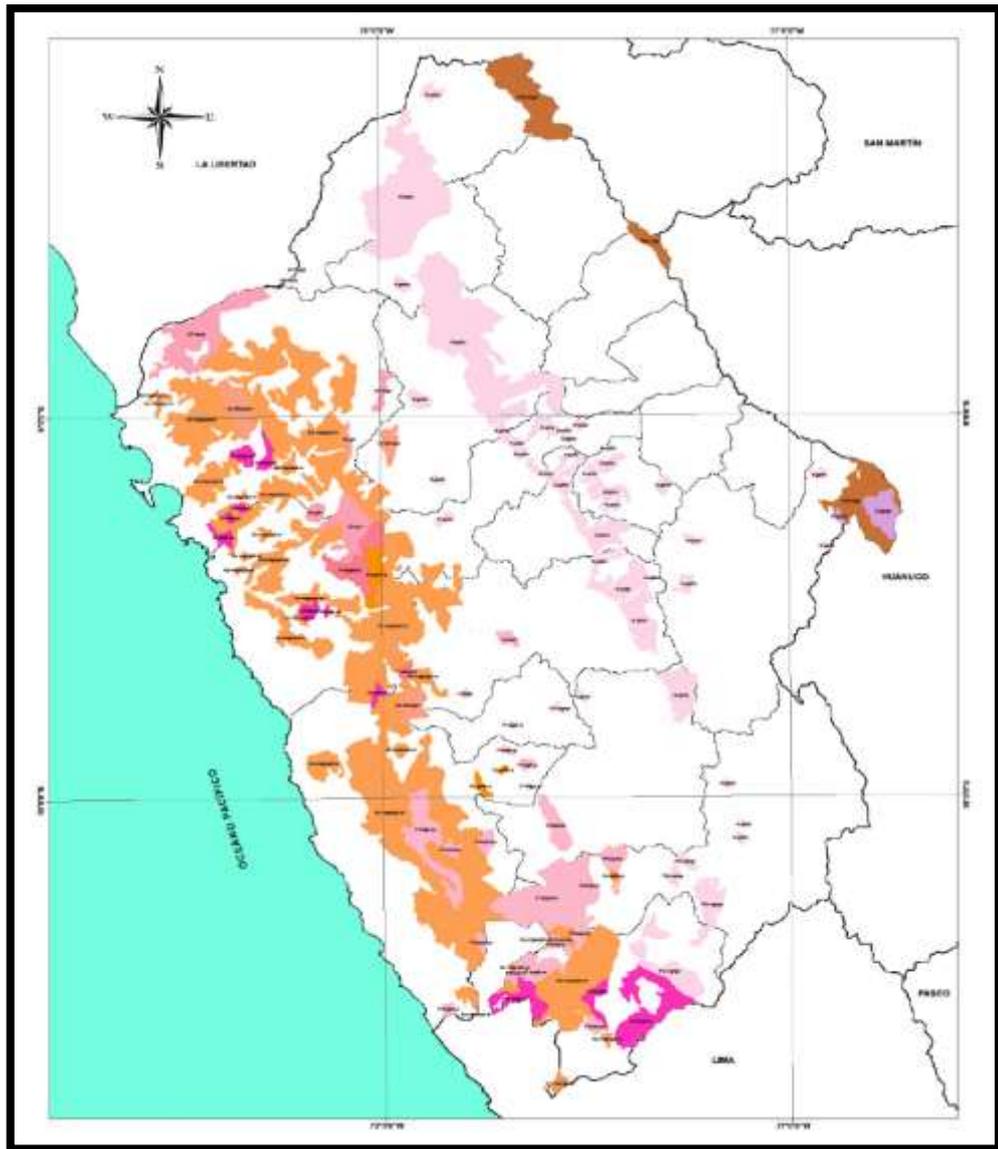




Figura 5. Mapa de Rocas intrusivas de la región Ancash (INGEMMET, 2011).

2.1.2. Formación y geodinámica

Como ya se mencionó, la Cordillera Blanca es un gran batolito conformado de granodiorita de edad Terciaria superior, limitada por sedimentos del cretáceo y por depósitos de morrenas del cuaternario. Además, está localmente cubierta por sedimentos más antiguos y rocas volcánicas de la formación Calipuy. Los principales eventos estructurales dentro de la región han sido compresión, plegamiento y sobre escurrimiento del basamento sedimentario, seguido por la erupción del volcánico Calipuy, la intrusión del batolito de la Cordillera Blanca y la formación del graben del Callejón de Huaylas (valle del río Santa) como podemos apreciar en la Figura 6.

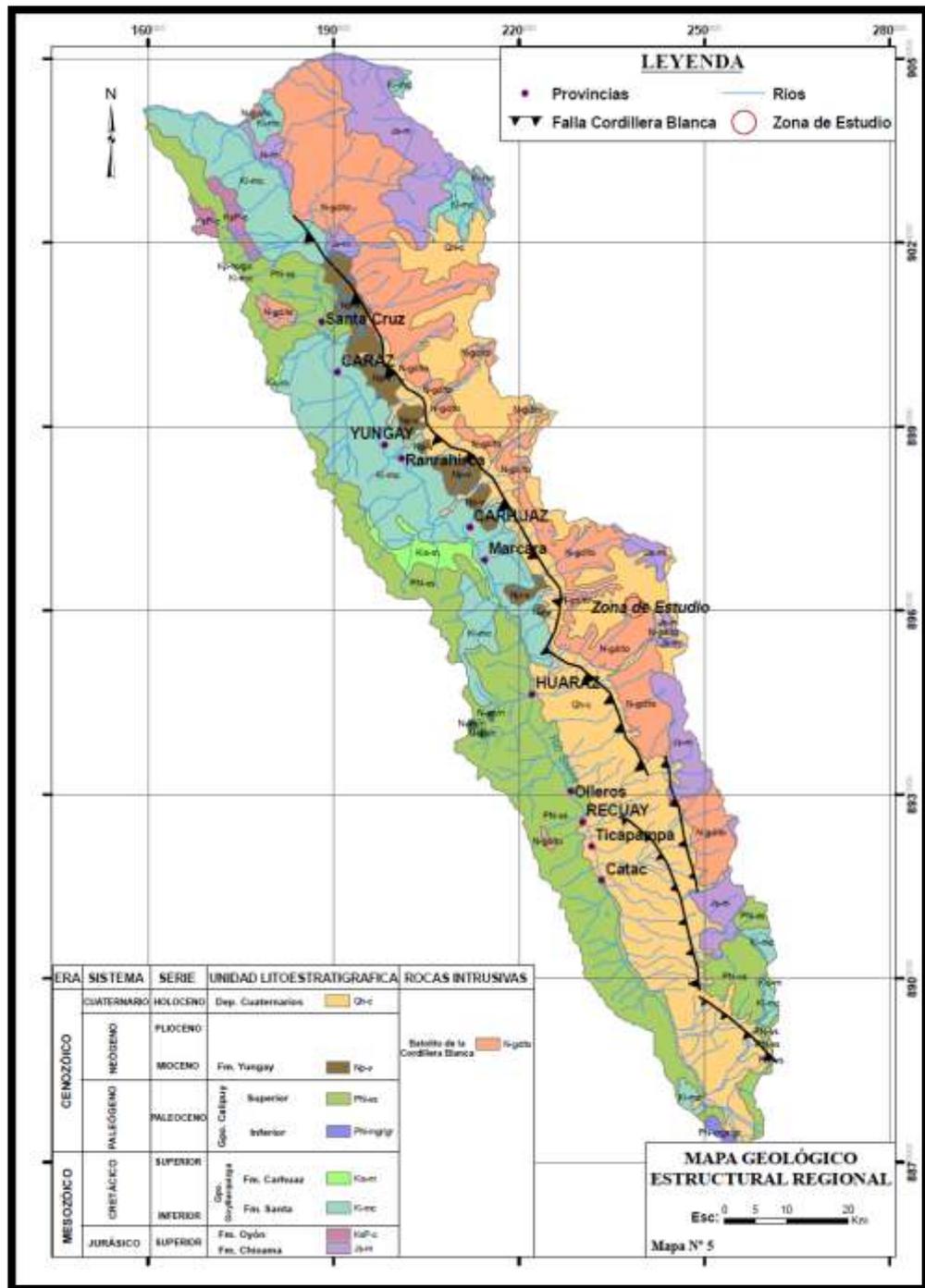


Figura 6. Mapa geológico de la cuenca del río Santa, región Ancash (Silva, 2012).

En la Cordillera Negra, el volcánico Calipuy posee depósitos minerales de plata, plomo, zinc, cobre y oro. Estos depósitos están asociados con un cinturón de alteración hidrotermal de 70 km de longitud que corre paralelo al valle del río Santa

y que tiene un recorrido hacia el noroeste. La mineralización ocurre en vetas y yacimientos con alteraciones menores (SENAMHI, 2005).

La formación de la cuenca tuvo origen en diferentes etapas geológicas las cuales se han manifestado en fuertes plegamientos y fallas de las formaciones jurásicas y cretácicas. Estas deformaciones se deben a la formación de montañas y cordilleras de fines del cretáceo, los fenómenos de emplazamiento del Batolito de la Cordillera Blanca y al movimiento epirogénico que afecta a los Andes (movimiento de placas tectónicas). Estos procesos se dieron en un tiempo geológico y continúan evolucionando. Según el INGEMMET, el batolito de la Cordillera Blanca se desplaza 1 mm anual (INGEMMET, 1989).

La geodinámica de la cuenca del río Santa se diferencia en dos: la interna y la externa. La interna se representa con fallas en el extremo norte de la cuenca. Las más importantes son la de clasificación Inversa, que poseen rumbos que varían de norte a noreste y buzamientos hacia el este y noreste. Las principales fallas inversas son: Bolognesi, Angasmarca, Lorosuyo, Llaray y Conchucos. También encontramos fallas normales, que se extienden por toda el área pero son más abundantes en el extremo noreste de la cuenca. Entre las más importantes tenemos las de Tillacay, Ancos, Santa Rosa, Pallasca, La Galgada, y Activa Río Santa. La falla activa Cordillera Blanca, limita por el oeste con el batolito de la Cordillera Blanca y se extiende desde Conococha al sur, hasta Corongo por el norte, con una longitud de 200 km. Esta falla es la de mayor actividad e importancia de la cuenca del río Santa. Por último, se encuentran el sistema de fallas transversales, que son sistemas de fallas con rumbo SONE (Sur-Oeste-Norte-Este), predominantemente

de desgarre con desplazamientos verticales y horizontales. Se pueden observar ejemplos en la Quebrada Los Cedros y Santa Cruz (Villanueva, 2011).

La geodinámica externa explica que para la ocurrencia de fenómenos geodinámicos han intervenido factores estáticos relacionados con el relieve accidentado de la cuenca, las formaciones geológicas inestables y elementos tectónicos estructurales como las fallas. Entre estos factores tenemos los climáticos, representados principalmente por las precipitaciones, los hidrológicos desestabilizadores, la ocurrencia de eventos sísmicos y la acción del hombre sobre el relieve. Entre los principales aluviones y avalanchas existe un registro realizado por el INGEMMET en 1989, que detalla 15 fenómenos que tuvieron repercusión en la geología del lugar.

2.1.3. Drenaje ácido de roca

El drenaje ácido de roca (DAR) es un fenómeno natural que resulta de la oxidación de minerales sulfurosos, como la pirita, por contacto con la intemperie (aire y agua). Esto produce aguas de drenaje rojizas y la lixiviación de altas concentraciones de metales, por lo cual se considera a estos drenajes como una forma de contaminación severa.

La generación de DAR depende del tiempo, ya que el agua del drenaje cambiará volviéndose cada vez más ácida y con concentraciones crecientes de metales, y de los procesos que involucran la oxidación, tanto química como biológica, además de fenómenos físico-químicos asociados, incluyendo la precipitación y el encapsulamiento. Las características del drenaje pueden cambiar desde ligeramente

alcalino, hasta casi neutro y finalmente ácido. Entre las características generales de un DAR tenemos:

- Valores de pH por debajo de 7 hasta 1.5.
- Alcalinidad decreciente y acidez creciente.
- Concentraciones elevadas de sulfatos.
- Concentraciones elevadas de metales disueltos o totales.
- Concentraciones elevadas de sólidos totales disueltos.

En el caso de los drenajes ácidos provocados por la actividad minera (drenajes ácidos de mina – DAM), la preocupación principal son los niveles elevados de acidez, sulfatos, niveles de hierro y cobre, así como la lixiviación de otros metales asociados con el mineral sulfuroso; y cómo estas características causan un impacto adverso en la vida acuática y en la calidad de agua para consumo humano.

No todos los minerales sulfurosos o rocas con contenido de sulfuro son potencialmente generadores de ácido, ni igualmente reactivos. La tendencia de una muestra particular de roca a generar acidez neta es una función del balance entre los minerales sulfurosos (productores de acidez) y los minerales alcalinos (consumidores de acidez). El proceso por el cual se consume el ácido se denomina neutralización, que teóricamente consiste en que cada vez que la capacidad consumidora de ácido de una roca (potencial de neutralización) excede al potencial de generación del ácido, se consumirá toda la acidez, y el agua que drena de la roca se encontrará en un nivel de pH neutro o cerca de él. Es decir, que un drenaje ácido generado por oxidación de sulfuros puede neutralizarse por contacto con minerales consumidores de ácido, ocasionando que el agua pueda variar entre pH neutro y una

acidez insignificante, a pesar de una continua oxidación de sulfuros (MINEM, 2015).

Etapas de desarrollo de un DAR

Generalmente, se observa como un proceso de tres etapas que están definidas por el pH del agua contaminada con minerales sulfurosos. En la etapa 1, la acidez generada es rápidamente neutralizada cuando la roca que contiene minerales sulfurados es expuesta al oxígeno y agua. El drenaje de agua es casi neutro, ya que mientras se produce la oxidación de minerales sulfurosos, existe suficiente alcalinidad disponible como para neutralizarlos y precipitar el hierro en forma de hidróxido. La reacción fundamental en esta etapa es la oxidación química, con oxígeno como oxidante principal, produciendo acidez a partir de minerales sulfurosos. Los minerales carbonatados, como la calcita (CaCO_3) presente en las rocas, son los principales neutralizadores y mantienen condiciones neutras a alcalinas en el agua que fluye sobre la roca. También se podrá encontrar contenido elevado de calcio, magnesio u otros metales dependiendo de la roca consumidora de ácidos, como resultado de la disolución de minerales carbonatados por el consumo de ácido. La oxidación de los minerales sulfurosos libera hierro ferroso en la solución, cuya oxidación es rápida a un pH superior a 7, y hierro férrico, que precipita de la solución como un hidróxido. Es así como la oxidación de la pirita en esta etapa es relativamente baja, ya que el hierro férrico no contribuye como oxidante. En general, el agua del drenaje en esta etapa se caracteriza por niveles elevados de sulfato con pH cercano a neutro.

La etapa 2 se caracteriza por la continua generación de ácido, mientras los minerales carbonatados se agotan; el pH del agua disminuye, y a un pH de 4.5 ocurren reacciones de oxidación tanto químicas como biológicas. Mientras la generación de ácido se acelera, el pH disminuye progresivamente. Primero los niveles del pH se mantendrán relativamente constantes hasta que el mineral neutralizante se vuelva soluble, donde se agota al potencial de neutralización y se presentan valores de pH por debajo de 3.5. En esta etapa el agua drenada se mantiene generalmente cerca al nivel neutro, con concentraciones elevadas de hierro ferroso y sulfato. Se observa una acidez alta, aun cuando las concentraciones de metales en la solución puedan ser bajas.

En la etapa 3, mientras los minerales alcalinos se consumen, se produce una acidez a mayor velocidad, volviendo el pH ácido. Las reacciones dominantes se transforman de oxidación química a principalmente una oxidación biológica catalizada. De las reacciones de oxidación sulfurosa se produce hierro ferroso que se oxidará biológicamente y se convertirá en hierro férrico. Éste, a su vez, reemplazará al oxígeno como el oxidante principal. En esta etapa, la velocidad de oxidación es más rápida que en la etapa 1 y esto se origina por el descenso de pH producido por la oxidación biológica. En esta etapa, el agua de drenaje es generalmente ácida, contiene sulfatos y metales disueltos en concentraciones altas. El hierro presente se encuentra como hierro ferroso y férrico.

El tiempo de cada una de estas etapas puede variar de un periodo de días a cientos de años, dependiendo de los factores que controlen la generación de ácidos (MINEM, 2015).

2.1.4. Efecto del cambio climático en la movilización de metales

El cambio climático es un fenómeno que amenaza al planeta desde hace décadas y tiene repercusiones en todos los ecosistemas, incluidos los nevados distribuidos alrededor del mundo. La Cordillera Blanca no es la excepción y también ha sufrido las consecuencias del aumento de la temperatura desde la década de los 60'.

A nivel mundial es muy probable que la extensión de la cubierta de hielo haya disminuido en un 10% en promedio en el Hemisferio Norte desde finales de la década de 1960 (especialmente como consecuencia de cambios por la estación de primavera en América y Eurasia en relación a la temperatura y extensión de hielo glaciar) y que su duración anual sobre ríos y lagos en latitudes medias y altas se haya reducido en cerca de 2 semanas durante el siglo XX. También ha tenido lugar una retirada generalizada de los glaciares montañosos en regiones no polares durante este periodo (IPCC, 2002) .

Los Andes Peruanos son sistemas importantes ya que sirven de fuente hídrica para diferentes actividades. Además en época seca, su derretimiento es fuente principal de agua que aporta a la disponibilidad hídrica en las cuencas andinas. Por su sensibilidad como indicadores frente a los cambios ambientales, el estudio de su dinámica tiene gran relevancia para evaluar y analizar los efectos del cambio climático.

El Perú, alberga el 71% de los glaciares tropicales del mundo, que debido al cambio climático en los últimos 40 años, han sufrido una serie de cambios y procesos físicos, como recesión, fragmentación y extinción. Datos en el boletín N°62 en la revista TUNUPA de Bolivia (2010) señalan que el 22% de los glaciares peruanos se habrían perdido. Como ejemplo, tenemos el Broggi (4860 m), que desapareció

en 2005 y el Quilca (5250 m) en 2009, mientras que el Pastoruri (5240 m) habría perdido el 40% de su superficie (Fundacion Solón, 2010; ANA, 2014).

Otros datos brindados en la COP 20 (2014) por el Gobierno del Perú, aseguran que la pérdida de los nevados en el Perú en los últimos 27 años, ha provocado una merma de aproximadamente 7000 millones de metros cúbicos de agua, que son equivalentes al consumo de la ciudad de Lima por diez años. Esto equivale a una reducción de 2041 km² a 1595 km², que equivalen a 446 km² menos de área glaciar en este periodo (Bardales, 2014).

El deshielo continuo de los nevados provoca la exposición a la intemperie de la roca que yace bajo la capa de nieve, ocasionando que el oxígeno y el agua interactúen con los componentes metálicos, como los mencionados en la sección 2.1.2. Como ya se ha mencionado, esto ocasiona la oxidación de los metales, produciendo sulfuros que se transportan por pequeñas corrientes hasta los lagos, lagunas y ríos. La contaminación por metales proveniente de los DAR no solo afecta la calidad de los cuerpos de agua, sedimentos y suelos, sino que también son almacenados por las especies que viven en ellos. Su acumulación en especies de flora y fauna, a su vez, pueden ocasionar su biomagnificación en la cadena trófica, lo cual trae consecuencias negativas en la salud de la población, que se alimenta de animales y vegetales relacionados directamente a la fuente de agua contaminada.

2.2 Actividad minera y pasivos ambientales en la cuenca del río Santa

La actividad minera en la cuenca se puede considerar en un nivel de desarrollo moderado, que viene de tiempos coloniales, pasando por diferentes épocas de reactivación por el interés en metales industriales, como el plomo, plata, zinc y

cobre. Como ya se ha explicado en la composición geológica de la cuenca, estos metales se encuentran mineralizados en forma de sulfuros, como la enargita, pirita, galena, esfalerita, arsenopirita y tetraedrita. En el caso del cobre se puede encontrar en forma de sulfosales, y el plomo-zinc en menores cantidades como arsenopirita, estibina, pirita y marcasita.

La representación de la minería está dada por la pequeña y micro minería de polimetálicos, que extraen y procesan de 100 a 200 ton/día; por la minería aurífera de oro libre, y por la explotación de carbón tipo antracita, donde las minas operan de manera intermitente.

Como las compañías mineras más importantes de la región Ancash tenemos a las minas Pierina, extractora de oro; y Antamina, concentradora de cobre y zinc. Pierina es un depósito epitermal con alto índice de sulfuración, que le pertenece a la compañía minera Barrick Misquichilca S.A. Está ubicada en el distrito de Jancas, provincia de Huaraz, en el lado oriental de la Cordillera Negra, con una explotación con mayor potencia total a los 5500 m. Los sedimentos de esta zona están recubiertos por material volcánico Calipuy, el cual como ya se ha mencionado contiene oro.

Antamina S.A se ubica al oriente de la Cordillera Blanca en el distrito de San Marcos, provincia de Huari. Está ubicada sobre un terreno conformado de depósitos de skarn de cobre-zinc con una secuencia de calizas, margas y limonitas del Cretáceo Superior de la formación Celendín, lo que ha hecho que sea catalogada como una de las productoras más importantes de concentrados de estos metales.

La minería en la cuenca del río Santa ha tenido un amplio desarrollo a lo largo de los años y a raíz de eso podemos encontrar mineras y concentradoras en casi la totalidad de su extensión, que pueden estar activas o inactivas (Figura 7).

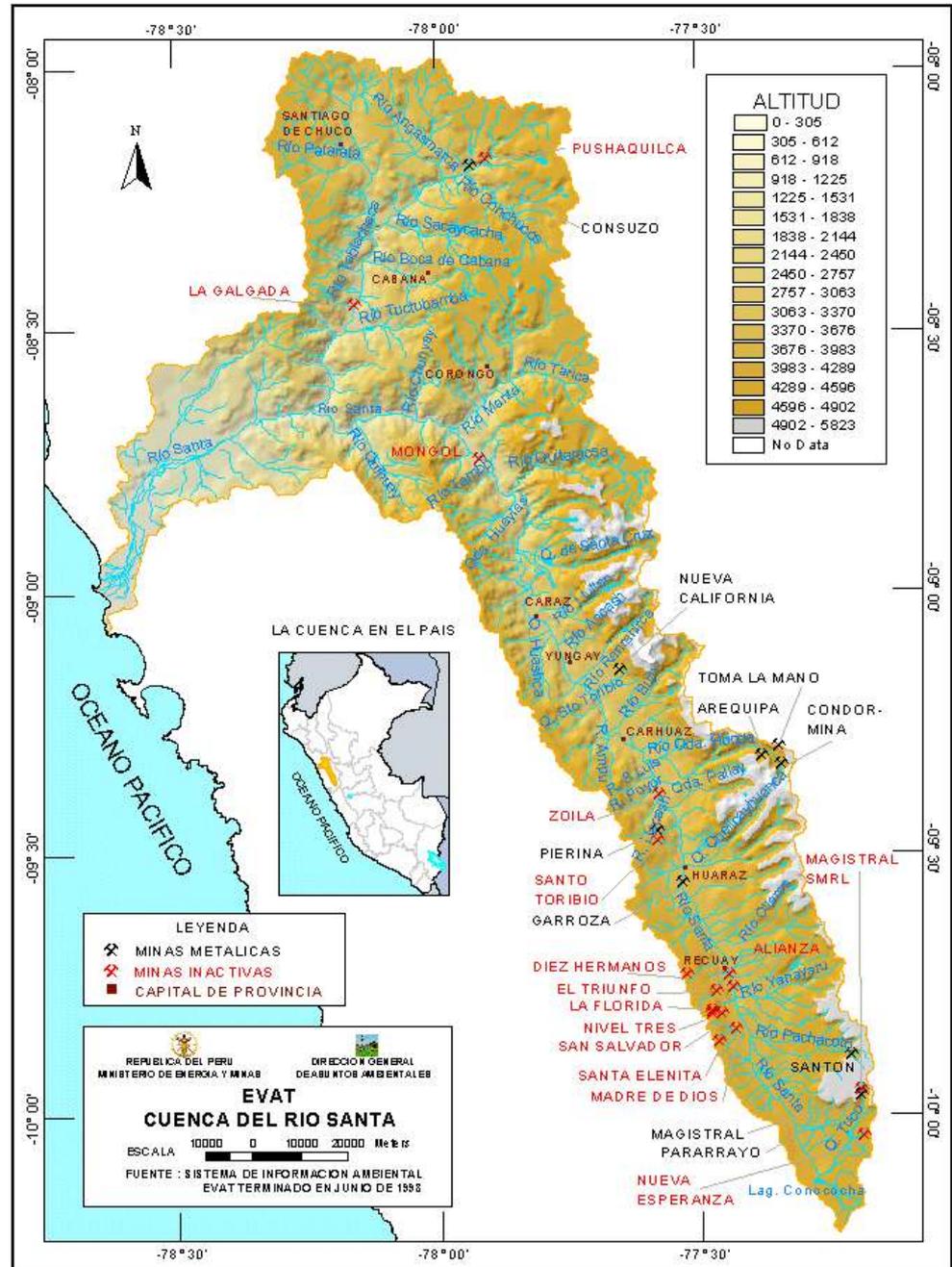


Figura 7. Relación de minas activas e inactivas a lo largo de la cuenca del río Santa (MINEM, 1998).

La tabla 1 describe los pasivos mineros más importantes en la cuenca que aparecen en el mapa de la figura 7. En esta tabla se observa que muchas de las minas y concentradoras, estén o no activas poseen varios tipos de residuos mineros según el número de lugares con actividad minera que manejan.

Tabla 1. Relación e información principal de minas activas e inactivas dentro de la cuenca del río Santa.

PASIVO MINERO	TIPO		METALES EXTRAIDOS	PROVINCIA	DISTRITO
	LABOR MINERA	RESIDUO			
Pushaquilca (Inactiva)	8 Bocaminas	8 Desmontes de mina	Au, Cu	Pallasca	Pampas
		1 Relave			
Planta Consuso	3 Bocaminas	1 Relave	Ag	Pallasca	Pampas
La Galgada (Inactiva)	-	1 Desmonte de mina	Au	Pallasca	Tauca
Mongol	1 Bocamina	1 Desmonte de mina	Au	Huaylas	Huallanca
Nueva California			Au y Ag	Yungay	Yungay
Toma la mano	1 Bocamina	1 Desmonte de mina	Ag, Zn, Pb	Carhuaz	Marcara
Condormina	1 Bocamina	-	Ag, Au	Carhuaz	Marcara
Arequipa	1 Bocamina	-	Au	Carhuaz	San Miguel de Aco
Zoila (Inactiva)	1 Bocamina	-	Au	Huaraz	Jangas
Pierina	1 Planta de Procesamiento	1 Relave	Au, Ag	Huaraz	Jangas
Santo Toribio	7 Media barretas	1 Relave	Ag, Au	Huaraz	Independencia
	7 Trincheras	25 Desmontes de mina			
	7 Bocaminas				
	4 Tajos 1 Tajeo comunicado	4 Material de desbroce			
Magistral (Activa / Inactiva)	4 Bocamina	4 Desmontes de mina	Ag, Cu	Bolognesi	Aquia
Garroza	1 Bocamina	-	Zn, Pb, Ag	Carhuaz	Marcara
	1 Bocamina		n.d.*	Recuay	Recuay

Diez hermanos (Inactiva)	1 Tajeo comunicado	1 Desmonte de mina			
Alianza (Inactiva)	Concentradora de metales	2 Relaves	Ag, Pb, Zn	Recuay	Ticapampa
		1 Desmonte de mina			
El triunfo (Inactiva)	1 Bocamina	1 Desmonte de mina	n.d.*	Recuay	Ticapampa
La Florida (Inactiva)	3 Bocaminas	2 Desmontes de mina	Ag, Pb y Zn	Recuay	Ticapampa
Nivel tres (Inactiva)	5 Bocaminas	5 Desmontes de mina	n.d.*	Recuay	Ticapampa
	1 Tajeo comunicado				
San Salvador (Inactiva)	3 Bocaminas	2 Desmontes de mina	n.d.*	Recuay	Catac
Santa Elenita (Inactiva)	1 Media barreta	7 Desmontes de mina	n.d.*	Recuay	Catac
	5 Bocamina				
	1 Tajo				
Santa Rosa de Jangas	Concentradora	1 Relave	polimetálico	Huaraz	Jangas
Madre de Dios (Inactiva)	4 Bocamina	3 Desmontes de mina	n.d.*	Recuay	Catac
	1 Tajeo comunicado				
Pararrayo	4 Bocaminas	4 Desmonte de mina	Zn	Bolognesi	Aquia
Santón	2 Chimeneas	7 Desmontes de mina	n.d.*	Recuay	Catac
	1 Trinchera				
	6 Bocaminas				
	1 Tajeo comunicado				
	1 Rampa				
Nueva esperanza	10 Bocaminas	9 Desmontes de mina	n.d.*	Bolognesi	Aquia
Mesapata	Concentradora	Relave	Pb-Ag, Zn, Cu	Recuay	Cátac

*n.d.: Mina polimetálica; información no disponible sobre metales específicos.

2.3 Diversidad de flora en ambientes impactados por metales.

Tomando como referencia el Mapa Ecológico del Perú se identifican dentro de la cuenca del río Santa 21 Zonas de Vida, de las 84 que posee el Perú y de las 108

mundiales (INRENA, 1995). Las zonas de Páramo son las de mayor extensión, con un 21% del área de la cuenca. Estudios más recientes realizados bajo el patrocinio de la Secretaría General de la Comunidad Andina, corroboran que en la cuenca de río Santa los ecosistemas de pajonal altoandino de puna húmeda son los predominantes (Secretaria de la Comunidad Andina y otros, 2007). Asimismo, en esta línea de investigación seguida por la Comunidad Andina de Naciones (CAN), el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), que toman la iniciativa de profundizar el estudio de los ecosistemas de la cuenca media y alta del río Santa, se han identificado 41 ecosistemas, que en términos de extensión representan el 64% de pajonales, 19% de bosques (incluyen naturales e introducidos), el 15.4% de arbustos, y el 1.6 % de bofedales.

Acerca del rol que cumplen estos ecosistemas altoandinos en la regulación hídrica, el estudio indica que los bosques infiltran el 85%; el pajonal alto, el 75%; el pajonal corto, el 54%; y el suelo desnudo, el 25%. Los pajonales tienen la segunda importancia en la infiltración para la regulación hídrica. Si esto se relaciona con la categorización de su estado ecológico (pobre), se concluye que no estarían cumpliendo su función de manera adecuada, lo cual confirma la necesidad de revertir esta situación, prioritariamente en la cuenca media y las subcuencas de la Cordillera Blanca (Villanueva, 2011).

Las 21 Zonas de Vida identificadas corresponden a ecosistemas que cumplen funciones esenciales en los medios de vida de los pobladores de la cuenca del río Santa. La calidad de los ecosistemas tiene relación directa con la calidad de vida a nivel de la cuenca, es decir los ecosistemas brindan servicios ambientales vitales

para nuestro desarrollo, como por ejemplo, la regulación del ciclo hidrológico, el mantenimiento de la calidad de agua, la recarga de acuíferos y la regulación del microclima. Los servicios ambientales se entienden como los beneficios, no materiales ni extractivos, que los ecosistemas proveen a los seres humanos, es decir, que pueden ser provistos por el funcionamiento de los ecosistemas naturales y, bajo ciertas circunstancias, por ecosistemas manejados (Tirado, 2010).

Entre la especies de flora que habitan en la cuenca podemos encontrar los géneros *Calamagrostis*, *Festuca* y *Jarava* en zonas alto andinas como representantes de los pajonales, así como diversas especies del género *Gentianella* y *Valeriana* (*Phyllactis rigida*, *Stangea henrici*) en menor cantidad. En la provincia de las vertientes occidentales encontramos especies como *Caesalpinia spinosa* (tara), *Schinus molle* (molle) y *Tesaria integrifolia* (pájaro bobo) en el denominado piso inferior (zonas áridas y semiáridas). Además, podemos encontrar especies amenazadas, como *Puya raimondii* (Puya de Raimondi) *Polylepis incana*, *P. racemosa*, entre otras. Algunas de las especies vegetales pertenecientes a los géneros mencionados han sido encontradas en lugares impactados por la minería, como *Calamagrostis ligulata*, *Juncus imbricatus* y *Cyperus* sp., que se han utilizado en investigaciones locales para la biorremediación de aguas contaminadas por metales mediante humedales artificiales (Aliaga y otros, 2009).

2.3.1. Mecanismos de concentración de metales en plantas

Las investigaciones de J. Levitt en 1980 lo llevaron a afirmar que los ambientes contaminados por metales pesados operan como elementos de estrés en las plantas, inducen una reacción fisiológica que puede reducir o inhibir el crecimiento de la

planta. Si ésta muestra reacciones negativas a la tensión producida por el metal, como daño o muerte, se le considera sensible al entorno; pero si sobrevive o se reproduce en este medio, es considerada resistente. Estos mecanismos de resistencia pueden deberse a dos estrategias: la evitación y la tolerancia (Mehes-Smith y otros, 2013). La evitación consiste en limitar la absorción de metales en el tejido de la raíz con la utilización de diversas estrategias. Una de ellas sucede en suelos donde la distribución de los metales es heterogénea, y las plantas pueden prevenir su absorción explorando con sus raíces suelos más limpios o asociándose con hongos micorrízicos a través de su interacción con exudados de la rizósfera (protones o ácidos orgánicos). Estos últimos pueden, además, otorgarle mayor resistencia a los metales mediante un cambio de especiación o restringiendo su transferencia a la planta, ya que estos hongos pueden extender sus hifas a lo largo de varios metros fuera de las zonas de las raíces. La mayoría de estos hongos son más resistentes a los metales que las angiospermas porque restringen su transferencia a la planta. Un ejemplo de estas es la *Viola calaminaria*, que es poco tolerante al zinc, pero sobrevive por la simbiosis con hongos micorrízicos (Ernst, 2006). La restricción de metales también puede estar a cargo de las raíces de las plantas. Por ejemplo, los exudados de las raíces en la rizósfera pueden actuar como quelantes de cationes metálicos y detener su entrada en la célula; y la pared celular puede restringir la entrada de metales al citoplasma (Mehes-Smith y otros, 2013 y referencias citadas). Cuando las plantas no han desarrollado estrategias de evitación, pueden morir o sobrevivir en estos ambientes contaminados. Para lograr la supervivencia, generan estrategias de tolerancia a ciertos metales donde entran en función mecanismos internos contra el estrés. Entre ellos, tenemos la desintoxicación de iones metálicos

libres para evitar daños oxidativos a las células, mediante la conformación de compuestos metálicos estables menos tóxicos con quelantes (fitoquelatinas, ácidos orgánicos, aminoácidos o fenoles) y/o el secuestro de metales desde el citoplasma o pared celular (metabolismo activo) hacia el interior de vacuolas (Llugany y otros, 2007 y referencias citadas). Las plantas tolerantes a metales, o metalofitas, pueden funcionar normalmente incluso en presencia de altos niveles internos de metal. Esta adaptación se ha dado mediante el desarrollo de los mecanismos de tolerancia heredables arriba descritos, que han evolucionado de manera independiente, pero que funcionan en conjunto y hacen que la exposición a metales opere como una especie de selección natural, activando genes (Mehes-Smith y otros, 2013).

Las plantas colonizadoras de suelos mineros no han sido la excepción y también han desarrollado estos mecanismos fisiológicos, que les permiten sobrevivir en ambientes con toxicidad por metales. En muchos casos, éstas no suprimen la absorción del metal, pero propician la desintoxicación interna con los mecanismos explicados anteriormente. Un modo adicional de estrategia lo utilizan las plantas que se manifiestan como "indicadoras", donde existen relaciones proporcionales entre los niveles de metal en el suelo, la absorción y la acumulación en diferentes partes de la planta (Baker, 1981 y referencias citadas).

Patrones de absorción de metales por las plantas

La evidencia en la literatura sugiere que las especies difieren considerablemente en sus características de absorción de metales y de los metales que absorben, y que aquéllas que crecen en suelos metalíferos tóxicos no pueden impedir su absorción, pero sí restringirlos y acumularlos en sus tejidos en grados variables (Baker A. ,

1981 y referencias citadas). Una mayor información sobre la respuesta de las especies vegetales puede obtenerse a partir de los niveles de metales en los tejidos en relación a su concentración en el suelo. Por ejemplo, los datos de Nicolls y otros investigadores (1965) para la hierba *Triodia pungens* (Australia) sugieren diferentes mecanismos de captación, transporte y acumulación de zinc, plomo y cobre, donde se muestra que hay diferencias en las concentraciones de estos metales entre las diferentes partes de la planta (hoja, tallo, raíz) (Baker, 1981 y referencias citadas). En base a este y otros ejemplos en el estudio de Baker (1981 y 1990), se clasificaron las especies de plantas según la relación de concentraciones de metales entre el suelo, la raíz y las partes aéreas:

- Acumuladoras/Hiperacumuladoras: los metales se encuentran en altas concentraciones en los tejidos de las partes aéreas de la planta con respecto a las del suelo y a las de otras plantas que crecen cerca de ellas, llegando a concentrar hasta 100 veces más que otras especies. Las plantas acumuladoras pueden también almacenar naturalmente altos niveles de metales específicos o un conjunto de ellos en los brotes de sus raíces (Mehes-Smith y otros, 2013 y referencias citadas). Esto lo logran a través del incremento del secuestro interno, la translocación y la acumulación (Baker y Walker, 1990). Hasta el 2011 se encontraron cerca de 400 especies pertenecientes a 45 familias que se catalogaron como acumuladoras de metales pesados que por su composición eléctrica reemplazan a metales importantes para la planta, en sus tejidos, siendo la mayoría de ellas de la familia *Brassicaceae* con géneros como *Alyssum* (Europa) y *Thlaspi*. También existen variaciones entre familias en su capacidad de acumular;

por ejemplo, en el género *Arabidopsis*, *A. halleri* puede acumular cadmio y zinc, mientras que *A. thaliana* es excluidora de metales, restringiendo su paso en las raíces (Mehes-Smith y otros, 2013 y referencias citadas).

- Indicadoras: la absorción y el transporte de metales a las partes aéreas de la planta se regulan de manera que la concentración interna refleja los niveles externos. Si estas plantas quedan expuestas a metales durante un largo tiempo lo más probable es que les ocasione la muerte. Sin embargo, este tipo de plantas son de importancia biológica y ecológica, ya que indican que existe contaminación en un lugar determinado y absorben metales aunque en pequeña medida (Mehes-Smith y otros, 2013 y referencias citadas).
- Excluidoras: Su estrategia consiste en la limitación del transporte de metales desde las raíces a los brotes, manteniendo las concentraciones del metal en las partes aéreas constantes o bajas en un amplio intervalo de concentraciones en el suelo. Esto ocurre hasta un valor crítico, por encima del cual el mecanismo se interrumpe y el resultado es un transporte de metales constante (Baker, 1981 y referencias citadas). Algunas especies que utilizan este mecanismo son *Oenothera biennis*, *Commelina communis*, *Silene maritima*, *Agrostis stolonifera* L.; y entre las especies leñosas, *Salix* sp., *Populus* sp. y *Pinus radiata* (Mehes-Smith y otros, 2013 y referencias citadas).

Las conclusiones de Baker en sus investigaciones de los años 1981 y 1990, basadas en referencias de investigaciones sobre respuestas de pastos, arbustos y árboles a los metales, describen que diferentes tipos de mecanismos de tolerancia están involucrados y que estas especies pueden crecer juntas. Baker realizó experimentos

previos con la especie *Silene marítima* With; sembrando poblaciones tolerantes y no tolerantes al zinc y plomo en residuos minerales (zinc, 100000 ug/g y plomo, 50000 ug/g) diluidos hasta mil veces en un suelo limpio arenoso. Los análisis de tejidos de las plantas indicaron un transporte limitado de estos metales en plantas tolerantes (Baker, 1981 y referencias citadas). En un segundo experimento, trabajó con las mismas poblaciones tolerantes y no tolerantes, que se obtuvieron a partir de plántulas maduras en condiciones de crecimiento con niveles de zinc de 0.05 a 10 mg/L. El análisis de los brotes de tallo confirmó el patrón de exclusión que se observó en la investigación anterior, mientras que el análisis de las raíces mostró una inmovilización pronunciada de zinc en ambas poblaciones. Esto indicó una saturación del sistema radicular con iones de zinc en los niveles más altos.

Posteriores revisiones de una serie de poblaciones confirmaron que todas aquellas tolerantes mostraron algún grado de exclusión de zinc en los brotes, con diferentes grados de acumulación en la raíz. Algunas poblaciones también mostraron absorción reducida. Los contenidos de zinc en los brotes de tallo y las relaciones de concentración raíz/brote podrían estar relacionados directamente con el estado de zinc en el suelo. Este trabajo demuestra la naturaleza precisa de la adaptación edáfica y el grado de tolerancia al zinc en esta especie (Baker, 1978). Experimentos adicionales con plantas tolerantes sugirieron que el mismo tipo de mecanismo de exclusión era funcional para el cobre.

La resistencia a los metales no es un atributo fisiológico simple, sino un conjunto de adaptaciones a nivel celular y bioquímico (Baker, 1981 y referencias citadas). En especies excluidoras y acumuladoras los mecanismos de tolerancia son en gran parte "internos", y se refieren a una activa desintoxicación de iones metálicos, por

medio de la unión de estos metales a enzimas quelantes (fitoquelatinas), ácidos orgánicos o fenoles, acompañada del secuestro y acumulación del metal desde el citoplasma hacia el interior de vacuolas. Estos mecanismos pueden diferir de lugares específicos de acción, observándose en gran medida dentro de la raíz en plantas excluidoras y en los brotes (tallos) en especies acumuladoras. La razón principal de que el almacén de metales se encuentre entre las raíces y los brotes de tallos es que así se disminuye las dosis tóxicas en el tallo maduro, frutos y granos (Orroño, 2002 y referencias citadas).

2.3.2. Perspectivas para la fitorremediación de suelos contaminados por metales

El concepto de especies indicadoras geobotánicas ha demostrado ser una herramienta muy eficaz para la exploración minera. Estudios comunitarios en materia de suelos contaminados también han revelado asociaciones constantes desarrolladas, por ejemplo, sobre la calamina (zinc) en suelos en Europa occidental y central, en serpentina (níquel, cromo) y en suelos del “Cinturón de Cobre” de África Central (cobre). Algunas especies están totalmente restringidas a suelos mineros, mientras que otras, a pesar de ser parte de la flora común, también pueden ocurrir en asociaciones fitogeográficamente distintas en suelos no contaminados, o incluso tanto en suelos contaminados como no contaminados de la misma región. La presencia de una especie o de una raza en un suelo contaminado con metales implica que es tolerante a la toxicidad de metales. Ejemplos de adaptaciones son los llamados humedales o “wetlands”.

Los humedales tienen una importancia que ha variado con el tiempo. En el Periodo Carbonífero, hace 350 millones de años, estos ambientes produjeron y conservaron muchos combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, de los que dependemos hoy. Actualmente, se han descubierto bienes y servicios que califican a los humedales como los riñones del mundo, debido a las funciones que pueden desempeñar en los ciclos hidrológicos y químicos. Por su ubicación entre ambientes acuáticos y terrestres (Benefield y Randall, 1981), poseen una dinámica microbiana e hidrodinámica de transición, que asimila una gran variedad de constituyentes químicos y físicos en solución, ya sea como detritus o sedimento.

Los humedales son proveedores efectivos de nutrientes y también pueden funcionar como sitios amortiguadores para contaminantes orgánicos e inorgánicos. Esta capacidad es el motivo primordial por el cual se construyen artificialmente para tratar aguas contaminadas, donde intervienen mecanismos de sedimentación, absorción y metabolismo bacteriano, sumados a una interacción con la atmósfera. Los humedales artificiales operan a velocidades de flujo de agua y caudal constante y pueden estar sujetos a cambios en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por cambios en la temperatura del agua.

Se tiene información sobre el uso de humedales artificiales desde 1912, basada en observaciones sobre la capacidad de tratamiento de los humedales naturales. Los estudios para su construcción se iniciaron en la década de los cincuenta en el Instituto Max Planck en Alemania-USA y fueron desarrollados entre los años setenta y ochenta. Es así como en los años noventa el uso de esta herramienta biológica para tratar aguas residuales se expandió (Kladeo y Knight, 1993).

Lo característico de un humedal es mantenerse en presencia de agua durante periodos bastante prolongados como para alterar los suelos, sus microorganismos y las comunidades de flora y fauna, hasta el punto en que el suelo no actúa ni como hábitat acuático ni terrestre. Las profundidades de estos sistemas biológicos son menores a 0.60 m donde crecen plantas emergentes como las del género *Juncus*, *Typha* (totora) y especies como *Lemna minor* (lenteja de agua), las cuales contribuyen a la reducción del contaminante a través de procesos aerobios de degradación. Estos procesos se pueden dividir en:

- Proceso físico de remoción: asociado al material en partículas, se debe a la circulación lenta del agua superficial originada por el flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y plantas flotantes. La sedimentación de sólidos suspendidos ocurre también por las características mencionadas, y su eficiencia de remoción es proporcional a la velocidad de particulado fijo y a la longitud del humedal. La sedimentación es un proceso irreversible, que puede ser afectado por procesos de resuspensión provocada por periodos de flujo con velocidades más altas o por turbulencias por el viento, bioturbación (animales o humanos) y desprendimiento de gases, como oxígeno a partir de la fotosíntesis de organismos del agua, y metano y dióxido de carbono producidos por microorganismos en el sedimento durante la descomposición de la materia orgánica (Benefield y Randall, 1981).
- Proceso biológico de remoción: representado por la captación de la planta, ya que los contaminantes son también formas de nutrientes esenciales, como el nitrato, amonio y fosfato. Sin embargo, muchas especies de los humedales

son capaces de captar y acumular metales tóxicos, como cadmio y plomo. La velocidad de la remoción de estos contaminantes por las plantas varía ampliamente dependiendo de su velocidad de crecimiento y de la concentración del contaminante en sus tejidos.

Las plantas leñosas, como árboles y arbustos, proporcionan un almacenamiento de contaminantes a largo plazo en comparación con las herbáceas. Sin embargo, la velocidad de captación de contaminantes por unidad de tierra es mucho más alta para herbáceas o macrofitas. Las algas pueden también proporcionar una cantidad significativa de nutrientes captados, pero son susceptibles a los efectos tóxicos de los metales pesados y su almacenaje es a corto plazo debido a su ciclo de vida. Las bacterias y otros microorganismos también proveen, captan y almacenan nutrientes y algunos contaminantes a corto plazo.

En muchos humedales hay una acumulación significativa de detritus de la planta, porque la velocidad de descomposición disminuye bajo las condiciones anaerobias que prevalecen en el suelo del humedal. Esto origina la formación de la turba, que puede atrapar y almacenar algunos de los contaminantes captados originalmente por la planta, que luego se acumularán a grandes profundidades y por largos periodos de tiempo. Sin embargo, la acumulación también puede ser susceptible a la descomposición si el humedal se drena. Cuando esto sucede, los contaminantes incorporados en la turba se pueden liberar, reciclar y/o limpiar con un chorro de agua.

Los descomponedores microbianos, como las bacterias, utilizan el carbono de la materia orgánica como fuente de energía, convirtiéndola en gases de

CO₂ o CH₄. Esto proporciona un mecanismo biológico importante para la remoción de una amplia variedad de compuestos orgánicos. El metabolismo (*Pseudomonas* sp) microbiano también proporciona la remoción del nitrógeno inorgánico, como nitrato y amonio, transformándolo en gas nitrógeno (N₂), que luego es liberado a la atmósfera en un proceso llamado desnitrificación (Benefield y Randall, 1981).

- Proceso químico de remoción: es principalmente la absorción que da lugar a la retención a corto plazo o inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes. Este proceso se define como la transferencia de iones a partir de la fase soluble a la fase sólida e incluye reacciones de adsorción, o unión de iones a las partículas del suelo por intercambio catiónico o absorción química, y de precipitación. . El intercambio catiónico se define como la unión física de cationes a superficies de partículas de arcilla y materia orgánica del suelo que suele ser más débil que la química. Muchos componentes de aguas residuales existen como cationes, como el amonio, y la mayoría de metales traza, como el cobre, que serán capturados por los suelos mientras mayor sea el contenido de arcilla y materia orgánica. La absorción química, por otro lado, representa una forma más fuerte y permanente, logrando inmovilizar un gran número de metales y compuestos orgánicos con interacción con arcilla, óxidos de hierro y aluminio, y materia orgánica. Aquí encontramos a los grupos fosfato que al unirse al hierro y aluminio forman compuestos más estables en el suelo, produciendo un almacenamiento de fósforo a largo plazo. Otras reacciones importantes son la precipitación que ocurre en suelos del humedal, formando sulfuros de

metales que son altamente insolubles y representan medios eficaces para la inmovilización de muchos metales tóxicos; y la volatilización del amoníaco (NH_3), que da lugar a la remoción de nitrógeno. Esto ocurre si el pH del agua es mayor a 8.5, pero si es menor, el nitrógeno del amoníaco se encontrará en forma ionizada, que no es volátil. Si bien la volatilización remueve con eficacia ciertos contaminantes del agua, puede ser indeseable en algunos casos, por poseer un alto potencial para contaminar el aire (Benefield y Randall, 1981).

Los humedales artificiales aprovechan estos procesos naturales para poder tratar aguas contaminadas en un cauce poco profundo construido por el hombre. Estos tienen ventajas sobre los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren de poca o ninguna energía para poder operar y son de bajo costo. Otra ventaja es que proporcionan hábitats para la vida silvestre y son estéticamente agradables a la vista.

Entre los tipos de humedales artificiales existen:

A. Sistemas de agua superficial libre (SASL): Consisten en estanques o canales, con una barrera subterránea para prevenir la filtración, con suelo o un medio para soportar la vegetación emergente y agua en profundidad baja (0.1 – 0.6 m) que atraviesa la unidad. La baja profundidad y velocidad de flujo, y la presencia de tallos de plantas y desperdicios regulan el flujo de agua. El agua que se aplica es residual previamente tratada, que fluye lentamente atravesando el tallo y la raíz de la vegetación emergente (Llagas y Guadalupe, 2006).

B. Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS): Utilizan plantas emergentes sobre suelo, grava o piedra en el fondo del canal como sustrato de crecimiento. En él, los microorganismos descomponen el medio y se adhieren a las raíces de las plantas, interactuando de esta manera con el agua residual, que fluye horizontalmente. El resto de microorganismos precipitan al sedimento. Estos sistemas tienen el propósito de obtener niveles de tratamiento secundarios y son llamados también “la zona de raíces” o “filtros de piedras de junco y caña”, que han sido desarrollados en Alemania (Llagas y Guadalupe, 2006).

La utilización de plantas acuáticas en sistemas de tratamiento de aguas residuales funciona para sistemas poco profundos como las plantas flotantes o sumergidas. Estos sistemas pueden ser de dos tipos: el primero incluye plantas flotantes que tienen la habilidad de derivar el CO₂ y la necesidad de oxígeno a la atmósfera, y reciben los nutrientes minerales del cuerpo de agua. El segundo sistema posee plantas sumergidas, que se distinguen por su habilidad para absorber O₂, CO₂ y minerales de la columna de agua. Estas plantas se inhiben fácilmente por una elevada turbiedad, ya que sus partes fotosintéticas se encuentran bajo la superficie (Llagas y Guadalupe, 2006).

Es importante mencionar qué técnicas pueden ser utilizadas para tratar las plantas luego de haber cumplido su función en un humedal artificial. Entre ellas, tenemos el compostaje, la compactación, incineración, pirólisis, eliminación directa y extracción de líquido. Si bien el compostaje y la compactación son técnicas ya utilizadas, y ambas reducen el volumen de material contaminado, necesitan de más

estudios para tratar los lixiviados que se originan en sus procesos y que contienen aun los metales contaminantes (Sas-Nowosielska y otros, 2004). La pirólisis es un nuevo método que funciona a temperaturas altas y en condiciones anaeróbicas, es decir, en un ambiente hermético (método utilizado también en la fabricación de carbón). Según la temperatura que se utilice, puede tener residuos, como el gas pirólico, líquidos aceitosos y los metales que forman la biomasa contaminada. Estos productos deben ser tratados como residuos peligrosos y disponerlos en un lugar adecuado. Sin embargo, los metales como el plomo y zinc, podrían ser recuperados si así lo dispusiesen, al igual que el líquido aceitoso podría ser utilizado como biodiesel o para el mejoramiento de productos químicos (Lievens y otros, 2008). Los procesos de incineración controlada en plantas acumuladoras de plomo y zinc, han sido catalogados como los más amigables con el medio ambiente, ya que reducen el riesgo de lixiviados y permiten recuperar los metales, además de reducir en casi un 90% la biomasa a cenizas (Sas-Nowosielska y otros, 2004).

III. HIPÓTESIS

Existen especies vegetales pioneras capaces de colonizar, desarrollar y sobrevivir en ambientes hostiles con elevadas concentraciones de metales, como los relaves y suelos cercanos a la actividad minera. Por ello, se estima que la flora que crece en las zonas aledañas a áreas contaminadas con metales de origen minero o natural (drenaje ácido de roca) a lo largo de la cuenca del río Santa, muestran algún tipo de resistencia, que se verá reflejada en su capacidad para acumular o inmovilizar los metales en sus raíces o partes aéreas, y que permitirá clasificarlas como especies indicadoras, tolerantes o hiperacumuladoras.

IV. OBJETIVOS:

4.1 Objetivo general:

Identificar las especies vegetales con potencial biorremediador en drenajes ácidos de roca y relaves minerales de la cuenca del río Santa (Áncash, Perú).

4.2 Objetivos específicos:

1. Identificar taxonómicamente y por morfología, las especies vegetales presentes en drenajes ácidos de roca y desmontes minerales.
2. Determinar las concentraciones de metales en suelos contaminados y relaves en la zona de estudio.
3. Evaluar la capacidad de bioconcentración de metales de estas especies vegetales a través de la relación entre la acumulación de metales en sus tejidos y en los suelos.
4. De acuerdo a esta relación, clasificar las especies vegetales como indicadoras, tolerantes o hiperacumuladoras, y seleccionar aquéllas con potencial de uso para la biorremediación de suelos y aguas contaminados por metales pesados.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos campañas de muestreo, en época húmeda (2 a 4 febrero de 2014) y seca (6 al 8 de agosto de 2014), en las que se colectaron muestras de suelo y especies de flora, tomando en cuenta el conocimiento previo sobre sus capacidades de acumulación de metales (Palomino y otros., 2008; Padilla y otros, 2009).

5.1 Ubicación geográfica

El trabajo se realizó en los desmontes y relaves mineros de Huancapetí, Ticapampa, Mesapata y Santa Rosa de Jangas, y en los drenajes ácidos de roca de Pastoruri, ubicados en la cuenca del río Santa (Callejón de Huaylas, Áncash) (Tabla 2). Estos lugares se eligieron por la presencia de las formaciones geológicas descritas anteriormente, y por los pasivos ambientales dejados por una intensa actividad minera pasada y actual.

Los puntos de muestreo fueron referenciados con un GPS Garmin E-trex 30 y fotografiados. El primer día, en ambas campañas de muestreo, se extrajo muestras cerca de la zona del relave de la Minera Huancapetí y del relave cerrado de Ticapampa. El segundo día, el muestreo se realizó en los relaves de la planta concentradora de Santa Rosa de Jangas y Mesapata, propiedad de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo; y el tercero en la zona impactada por drenajes ácidos naturales en Pastoruri.

Tabla 2. Ubicación de los lugares de muestreo indicando distrito y provincia. DAR, drenaje ácido de roca.

Lugar (Distrito, Provincia) - N° lugar de colecta	Coordenadas (UTM)	Altitud (msnm)	Tipo de relave /contaminación
Huancapetí (Recuay , Recuay) – 1	18L 221608.78 E / 8920412.55 S	4436	DAR
Huancapetí (Recuay, Recuay) – 2	18L 222787.58 E / 8921111.19 S	4527	Relave
Ticapampa (Ticapampa, Recuay)	18L 231890.25 E / 8920579.86 S	3459	Relave
Santa Rosa (Jangas, Huaraz)	18L 216431.34 E / 8960638.15 S	2786	Relave
Mesapata (Cátac, Recuay)	18L 233733.00 E / 8917779.78 S	3503	Relave
Pastoruri (Aquía, Bolognesi)– 1	18L 261048.00 E / 8903595.31 S	4979	DAR
Pastoruri (Aquía, Bolognesi) – 2	18L 261046.50 E / 8903673.42 S	4964	DAR



Figura 8. Mapa de la región Ancash indicando las provincias donde se realizó el muestreo de especies vegetales con potencial biorremediador (marcadas con una estrella verde) y los lugares de muestreo dentro de ellas (J, Santa Rosa de Jangas; 1H, Huancapetí; T, Ticapampa; M; Mesapata; P, Pastoruri).

5.2 Muestreo de suelos y plantas

El tipo de muestra vegetal elegido fue el de planta pionera; es decir, una especie vegetal que es la primera pobladora de una comunidad, que se establece con éxito en sustratos pobres y ambientes extremos o rigurosos, como por ejemplo, con un elevado contenido de metales, baja concentración de nutrientes, elevada radiación solar y cambios extremos de temperatura durante el día. Se entiende que estos ambientes fueron primero colonizados por musgos y líquenes, luego por herbáceas, arbustos y finalmente por plantas superiores leñosas, lo que completaría un proceso de sucesión ecológica. Los ejemplares se colectaron de acuerdo a una lista elaborada a partir de proyectos previos de remediación realizados en la zona de estudio por el Prof. Dr. Julio Palomino de la UNASAM.

Los ejemplares estuvieron alejados entre 1 y 2 m entre sí, con el propósito de evitar cualquier efecto de ejemplares contiguos sobre su capacidad de acumular metales. Previo a la segunda campaña de muestreo, y tomando en cuenta los resultados de la primera, se seleccionó un grupo de especies de acuerdo a sus características tolerantes o hiperacumuladoras para diversos metales que dieron un total de 19 especies sombreadas en amarillo en la región de época húmeda en la Tabla 3.

Es importante resaltar que debido a la escasez de ejemplares en lugares impactados por metales no fue posible la obtención de réplicas para el análisis estadístico. Sin embargo, la distribución al azar de las plantas nos brindó información sobre la selección de cada una de las especies vegetales, que podría estar sujeta a la cantidad de metal que puede tolerar o acumular.

Tabla 3. Caracterización de las especies vegetales colectadas en las épocas húmeda y seca, de acuerdo a la acumulación de metales en sus tejidos. Los metales sombreados en amarillo pertenecen a las plantas elegidas para ser muestreadas en la segunda salida.

CODIGO DE MUESTRA	NOMBRE CIENTIFICO	CARACTERIZACION EN EPOCA HUMEDA		CARACTERIZACION EN EPOCA SECA	
		TOLERANTES	HIPERACUMULADORAS	TOLERANTES	HIPERACUMULADORAS
HA1	<i>Jarava Ichu</i> Ruiz & Pav.	-	-	-	-
HA2	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen.	-	-	-	-
HA3	POACEAE1	-	-	-	-
HA4	POACEAE2	-	-	-	-
HR1	<i>Festuca dolichophylla</i> J.S.Presl.	Ag, Al, As, Cr, Hg, K, Na, Ni	B, K,	Ag, Al, Ba, Cd, Co, Cr, K	Be, Ca, K, Mn, Se
HR2	<i>Calamagrostis ligulata</i> (H.B.K) Hitchc.	Ag, Al, Ce, Cu, K	B, Ca, Cr, K, Mn, Na,	Ag, Al, Ba, Cd, Cr, Co, Pb	K, B, Se
HR3	<i>Senecio sp1</i>	B, Ca, K.	Ca, B, Cd, Ba, Cr, Cu, Fe, K.	K, Sr	Ag, As, Cd, Cr, Cu, K, Pb
HR4	POACEAE3	Al, Ca, Cr, K, Ni	B	-	B, Ca, Cr, Se
HR5	<i>Calamagrostis brevifolia</i> (J. Presl.) Steud.	-	-	Al, Cr, Mg, Na	B, Ca, Cd, P
T1	<i>Juncus arcticus</i> (J. Presl.) Steud.	Ag, Al, As, B, Ca, Cd, Cu, Hg	B, Ca	B, Ca, Cr, K, Na, P	B, Ca
T2	POACEAE4	Al, B, Ca, Cd, Cr, Hg,	B	Ag, B, Ca, Cd, Cr, Hg	B, Ca, Na, Se
T3	<i>Juncus bufonius</i> L.	Ag, B, Ca, Cr	Al, As, B, Ca, Cd, Cr, Hg, Pb	B, Ca, Cr, Cu, Na, Sr	B, Ca, Cr, Cu, Na, Sr
J1	<i>Scirpus sp1</i>	B, K, Na	Hg	-	-
J2	<i>Cortaderia selloana</i> (Schult & Schult.f.) Ash. & Graebn.	-	-	-	-
J3	<i>Schinus molle</i> L.	-	-	-	-
J4	<i>Medicago polymorpha</i> L.	Al, Cr, Na	Ag, As,	-	-
J5	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hotchc Ex. Chiov.	B, Cr	Ag, As, B, Cu, Pb	Cr, K, Na, P	B, Ca, K, P, Se
J6	<i>Medicago sp</i>	-	-	B, Ca, Cr, Mg, Na	B, Ca, P, Se
M1	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hotchc Ex. Chiov.	Cd, Cr, Cu	Al, As, Fe, Pb	Co, K, Mn, Na, P	B, Ca, K, Na, P
M2	<i>Juncus arcticus</i> (J. Presl.) Steud	-	-	-	-
M3	<i>Scirpus sp2</i>	B, Hg, K, Na,	B, K	B, K, Na, Se, Sr	B, K, P, Se, Sr
M4	<i>Scirpus sp3</i>	K, Na	B, Ca, Hg	As, Be, Co, Cr, K, Na	B, Ca, K, Na
M5	POACEAE5	-	-	-	-
M6	<i>Juncus arcticus</i> (J. Presl.) Steud	-	-	B, Ca, K, Na, P, Se, Sr	B, Se, Sr
P1	<i>Calamagrostis ligulata</i> (H.B.K) Hitchc.	Ca, K	Ag, Al, B, Ba, Ca	Ca, Co, Cr, Cu, K, Na	B, Ca, K, Na, Se
P2	<i>Werneria sp</i>	Ag, B, Ca, Cu, Pb	B, Ca, Hg	Ag, B, Ca, Co, Cr, Cu, Pb	B, Ca, Co, Se, Zn
P3	<i>Calamagrostis glacialis</i> (Weed.) Hitchc.	Ca, Cu, K, Na, Pb	Ag, B,	Ca, Cd, Co, Cu, K, Na, Pb	Ag, B, Ca, K, Na, Se, Sr
P4	<i>Senecio sp2</i>	B, Ca, Cr, Cu, K, Na	Ag, B, Cd, K, Na, Pb	B, Cr, K	Ca, Cr, Cu, K, Pb
P5	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen.	Ca, Na	As, B, Ca, Cu, Cr, Pb.	Ca, Cd, Cu, Fe, K	B, Ca, K, Se, Sr
P6	<i>Huperzia crassa</i> (Humb. & Bonpl. Ex Willd.)Rothm.	Ca, Cr, Cu, K, Na, Pb,	Ag, B, Ca, K, Na	B, Ca, Cr, Cu, K, Na, Pb, Sr	Ag, B, Ca, K, Se, Se
P7	<i>Loricaria sp.</i>	-	-	-	-

Sin embargo, debido a la época seca, no se encontró el total de plantas seleccionadas en la época húmeda. Esto ocurrió sobre todo en el relave de Santa Rosa de Jangas, por lo que se recolectó una planta adicional perteneciente a la misma familia que la especie ausente. En los relaves de Huancapetí y Mesapata, también se colectó una planta adicional con fines de exploración.

Para la determinación de metales en suelos, se separó el sustrato asociado a las raíces de los ejemplares de flora y en las cercanías al lugar de extracción, y se colocó en bolsas plásticas ziplock requiriendo un mínimo de 10 g para el análisis.

Las plantas elegidas para los análisis químicos en ambas campañas de muestreo, estuvieron en su mayoría en edad adulta o reproductiva, para asegurar un mayor volumen de muestra. Las muestras de la raíz y parte aérea de cada especie pertenecieron a un grupo de plantas aisladas, entre 1 y 2 m de distancia entre ellas, para no interferir en los resultados.

El muestreo para los análisis de metales se realizó luego de extraer las muestras para herborización. La metodología de muestreo de plantas para el análisis químico requirió de la colecta de un peso mínimo de 10 g para la parte aérea y raíz, de la siguiente manera: la parte aérea (tallo, hojas e inflorescencia) y la raíz (previamente separada del sustrato) de cada planta se cortó en pedazos pequeños con una tijera de jardinería y se almacenó por separado en bolsas ziplock hasta llegar al peso requerido. Cada bolsa fue etiquetada con el mismo código de herborización. Luego del trabajo en campo, las muestras fueron transportadas a Lima dentro de cajas térmicas para su posterior procesamiento en el Laboratorio de Ecotoxicología – LID, UPCH.

5.3 Herborización e identificación taxonómica

La colecta de ejemplares con fines de herborización se realizó por triplicado solo en la primera campaña, y en lo posible, se eligieron ejemplares que mostraron parte floral y fruto (etapa reproductiva). La recolección se llevó a cabo con el uso de tijeras de jardinería, con las que se cortó el tallo desde la parte más cercana a la raíz, se agruparon envolviéndoles el tallo con cinta adhesiva, se codificaron y guardaron en bolsas plásticas. El empaquetado y transporte se realizó con mucho cuidado con la finalidad de no perder ninguna parte de la planta importante para su herborización e identificación.

La herborización de las plantas se realizó al terminar cada día de muestreo durante la primera campaña. Esto consistió en retirar las plantas de la bolsa plástica donde se guardaron en campo, sacudir el exceso de polvo que se hubiera acumulado durante el viaje de retorno a Huaraz y separar cada réplica. Se utilizaron hojas pequeñas de periódicos para el secado de las plantas. En cada caso se escribió con lápiz el código de cada muestra, se colocó entre dos hojas de papel y se apilaron todas las muestras, las cuales se colocaron entre dos láminas de cartón. Para ejercer presión y que el secado sea más rápido, se anudó cada paquete con pabilo y se colocó un peso sobre cada paquete.

En el Laboratorio de Ecotoxicología, las muestras para herborizar se separaron de los cartones colocados en campo y se juntaron en varios paquetes, los cuales se pusieron entre bastidores rectangulares de madera de 45 x 30 x 2 cm, se amarraron con soguillas y se colocaron junto con las muestras para análisis químico en la secadora de plantas, donde estuvieron 4 días a 50 °C. Aunque el uso normal de la

secadora de plantas se realiza a 70 °C, nuestras muestras no sufrieron ningún efecto de la humedad ya que se conservaron muy bien en hojas de periódico mientras se secaban.

La identificación taxonómica de las muestras se realizó consultando dos manuales de flora de Huaraz: “Las plantas comunes de San Marcos (Huari, Ancash)” (Asunción Cano, 2005) y “Las plantas comunes del Callejón de Conchucos” (Asunción Cano, 2006). No todas las muestras han podido ser identificadas a nivel de especie, sobre todo las pertenecientes a la Familia Poaceae, por la dificultad que existe en la identificación de pastos mediante guías taxonómicas y los pocos especialistas en esta área a nivel nacional.

5.4 Análisis químico de suelos y plantas

Las muestras de tallos, hojas y raíces, y de suelos para el análisis químico fueron colocadas en bolsas de papel periódico a las que se les hizo agujeros pequeños para el ingreso de aire caliente, y se introdujeron en una secadora de plantas, donde estuvieron 4 días a 50°C. Terminado el secado, las muestras se colocaron en bolsas ziplock nuevas y se almacenaron hasta el momento del análisis de metales por espectrometría de emisión óptica inductivamente acoplada a plasma (ICP-OES). Los análisis se realizaron en el laboratorio acreditado de Servicios Analíticos Generales S.A.C. (Laboratorio de Ensayo Acreditado por el Servicio Nacional de Acreditación INDECOPI - SNA con Registro N° LE-047).

5.5 Cálculo del Factor de Bioconcentración (FBC)

Para determinar la capacidad de estabilización o acumulación de metales en las especies de flora, y su potencial remediador, se calculó el FBC a partir de la relación entre la concentración de metales (mg/L) en la raíz o parte aérea de la planta y la concentración de metales en suelos (mg/L). De acuerdo al FBC se determinó la función de cada especie:

- a) Indicadora: si la concentración en suelos/agua es mayor que la concentración en la raíz.
- b) Tolerante: si la concentración en la raíz es mayor que la concentración en el suelo.
- c) Hiperacumuladora: si la concentración en la parte aérea (hojas, tallos) es mayor que la concentración en la raíz.

VI. RESULTADOS

6.1 Identificación taxonómica de plantas

En la Tabla 4 se indica las muestras identificadas hasta género y especie; y aquellas en las que solo se ha logrado determinar la familia taxonómica a las que pertenecen.

Tabla 4. Identificación taxonómica de especies vegetales colectadas por localidad en las épocas húmeda y seca. HA, Huancapetí drenaje ácido; HR, Huancapetí relave; T, Ticapampa; J, Jangas; M, Mesapata; P, Pastoruri.

DISTRITO	CÓDIGO	ESPECIES RECOLECTADAS EPOCA HÚMEDA	ESPECIES RECOLECTADAS EPOCA SECA
HUANCAPETÍ	HA1	<i>Jarava Ichu</i> Ruiz & Pav.	-
	HA2	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen.	-
	HA3	POACEAE1	-
	HA4	POACEAE2	-
	HR1	<i>Festuca dolichophylla</i> J.S.Presl.	<i>Festuca dolichophylla</i> J.S.Presl.
	HR2	<i>Calamagrostis ligulata</i> (H.B.K) Hitchc.	<i>Calamagrostis ligulata</i> (H.B.K) Hitchc.
	HR3	<i>Senecio sp1</i>	<i>Senecio sp1</i>
	HR4	POACEAE3	POACEAE3
	HR5	-	<i>Calamagrostis brevifolia</i> (J. Presl.) Steud.
TICAPAMPA	T1	<i>Juncus arcticus</i> (J. Presl.) Steud.	<i>Juncus arcticus</i> (J. Presl.) Steud.
	T2	POACEAE4	POACEAE4
	T3	<i>Juncus bufonius</i> L.	<i>Juncus bufonius</i> L.
STA. ROSA DE JANCAS	J1	<i>Scirpus sp1</i>	-
	J2	<i>Cortaderia selloana</i> (Schult & Schult.f.) Ash. & Graebn.	-
	J3	<i>Schinus molle</i> L.	-
	J4	<i>Medicago polymorpha</i> L.	-
	J5	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hotchc Ex. Chiov.	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hotchc Ex. Chiov.
	J6	-	<i>Medicago sp</i>
MESAPATA	M1	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hotchc Ex. Chiov.	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hotchc Ex. Chiov.
	M2	<i>Juncus arcticus</i> (J. Presl.) Steud	-
	M3	<i>Scirpus sp2</i>	<i>Scirpus sp1</i>
	M4	<i>Scirpus sp3</i>	<i>Scirpus sp2</i>
	M5	POACEAE5	-
	M6	-	<i>Juncus arcticus</i> (J. Presl.) Steud
PASTORURI	P1	<i>Calamagrostis ligulata</i> (H.B.K) Hitchc.	<i>Calamagrostis ligulata</i> (H.B.K) Hitchc.
	P2	<i>Werneria sp</i>	<i>Werneria sp</i>
	P3	<i>Calamagrostis glacialis</i> (Weed.) Hitchc.	<i>Calamagrostis glacialis</i> (Weed.) Hitchc.
	P4	<i>Senecio sp2</i>	<i>Senecio sp2</i>
	P5	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen.	<i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen.
	P6	<i>Huperzia crassa</i> (Humb. & Bonpl. Ex Willd.)Rothm.	<i>Huperzia crassa</i> (Humb. & Bonpl. Ex Willd.)Rothm.
	P7	<i>Loricaria sp.</i>	-

6.2 Análisis de metales en suelos

Los resultados de suelos indicaron una similitud en la composición mineral de los relaves. Se encontró una elevada concentración de metales con bajos niveles toxicológicos y necesarios para el crecimiento vegetal, como el calcio, hierro, potasio, magnesio y sodio, pero también de otros con elevada toxicidad, como el aluminio, arsénico, cadmio, mercurio y plomo. El lugar que presentó mayor concentración de uno o más de estos metales fue Huancapetí, seguido de Mesapata, Ticapampa, Santa Rosa de Jangas y Pastoruri.

Tabla 5. Concentración promedio (\pm D.E.) de metales en suelos por punto de muestreo en época seca y húmeda. Se eliminaron las concentraciones de B y Se ya que fueron nulitas o cercanas a cero. N° de muestra: Huancapetí (E.H: 8, E.S: 5); Ticapampa (E.H: 3, E.S:3); Jangas (E.H: 5, E.S: 2); Mesapata (E.H: 5, E.S:4) y Pastoruri (E.H: 7, E.S:6). (D.E, Desviación estándar; E.H, Época Húmeda; E.S, Época Seca; ND, No detectable).

SITIO	HUANCAPETÍ		TICAPAMPA		JANGAS		MESAPATA		PASTORURI	
	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA
Ag	12.71 \pm 10.47	7.45 \pm 5.85	23.89 \pm 1.79	23.88 \pm 10.69	33.39 \pm 39.59	N.D	20.17 \pm 13.41	14.47 \pm 12.32	N.D	N.D
Al	9110.1 \pm 1257.90	3906.02 \pm 1799.80	1737.02 \pm 1064.04	723.73 \pm 279.47	7119.59 \pm 2230.92	914.23 \pm 877.80	8548.31 \pm 3077.16	2900.89 \pm 1623.1	6049.83 \pm 2437.12	1688.12 \pm 2437.12
As	3431.58 \pm 2131.06	3511.22 \pm 1795.20	4473.78 \pm 600.63	4242.16 \pm 1085.55	2463.33 \pm 2192.99	3025.09 \pm 4207.15	3374.15 \pm 2431.81	4221.66 \pm 2348.23	106.97 \pm 90.84	127.57 \pm 90.84
B	N.D	N.D	7.42 \pm 5.87	8.35 \pm 4.62	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Ba	37.61 \pm 4.71	40.6 \pm 7.81	37.38 \pm 19.54	47.73 \pm 16.70	79.39 \pm 24.37	40.67 \pm 47.61	63.66 \pm 8.94	40.74 \pm 20.31	8.66 \pm 4.45	7.99 \pm 4.45
Be	0.18 \pm 0.18	0.15 \pm 0.13	N.D	0.07 \pm 0.04	0.33 \pm 0.06	0.28 \pm 0.26	0.47 \pm 0.19	0.66 \pm 0.49	0.39 \pm 0.30	0.24 \pm 0.30
Ca	1944.71 \pm 834.46	1828.11 \pm 785.33	1851.35 \pm 1378.43	1291.69 \pm 284.01	23576.03 \pm 10115.32	14270.91 \pm 6736.96	19804.2 \pm 15261.27	18775 \pm 11734.43	136.07 \pm 93.09	187.38 \pm 93.09
Cd	17.4 \pm 16.54	17.26 \pm 11.93	13.4 \pm 13.91	7.64 \pm 4.43	60.84 \pm 71.48	60.41 \pm 73.99	40.99 \pm 35.54	73.03 \pm 31.69	7.74 \pm 9.91	4.27 \pm 9.91
Ce	29.39 \pm 12.61	35.19 \pm 16.08	13.63 \pm 6.47	15.37 \pm 2.73	35.2 \pm 4.70	42.08 \pm 6.39	25.81 \pm 10.44	26.48 \pm 5.64	16.02 \pm 15.29	8.78 \pm 15.29
Co	4.27 \pm 2.80	6.07 \pm 2.24	5.59 \pm 7.14	2.19 \pm 0.06	9.22 \pm 2.25	17.02 \pm 13.62	13.9 \pm 15.47	13.82 \pm 10.70	6.56 \pm 8.52	2.8 \pm 8.52
Cr	3.83 \pm 0.94	4.91 \pm 0.91	1.31 \pm 0.76	1.63 \pm 0.57	12.18 \pm 13.02	5.01 \pm 3.73	131.83 \pm 191.38	82.24 \pm 76.29	6.28 \pm 3.27	6.96 \pm 3.27
Cu	165.82 \pm 126.92	161.68 \pm 139.6	294.31 \pm 285.02	153.05 \pm 77.47	369.18 \pm 479.23	210.74 \pm 283.57	1008.56 \pm 662.99	628.77 \pm 110.89	8.39 \pm 6.47	9.03 \pm 6.47
Fe	18619.67 \pm 2491.45	20000 \pm 0.00	17989.59 \pm 3482.14	18422.13 \pm 2095.32	20000 \pm 0.00	20000 \pm 0.00	20000 \pm 0.00	20000 \pm 0.00	18227.03 \pm 3940.50	17775.93 \pm 3940.50
Hg	N.D	N.D	0.88 \pm 0.20	0.73 \pm 0.24	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
K	843.68 \pm 285.24	744.01 \pm 86.11	1004.5 \pm 128.06	1085.19 \pm 311.03	1450.83 \pm 518.82	589.21 \pm 100.58	1077.9 \pm 445.59	899.93 \pm 573.96	343.75 \pm 115.07	408.82 \pm 115.07
Li	7.37 \pm 2.27	13 \pm 2.67	7.52 \pm 4.69	6.23 \pm 0.92	13.64 \pm 3.96	7.87 \pm 8.40	12.72 \pm 4.94	14.93 \pm 6.31	6.78 \pm 3.37	8.77 \pm 3.37
Mg	2945.96 \pm 983	3069.61 \pm 1069.45	637.96 \pm 510.02	673.85 \pm 122.82	3766.33 \pm 1652.56	2402.41 \pm 365.55	3645.9 \pm 3486.23	3109.68 \pm 2460.27	1226.92 \pm 750.11	1256.11 \pm 750.11
Mn	745.87 \pm 256.84	803.65 \pm 344.4	661.44 \pm 976.94	163.87 \pm 7.51	1568.28 \pm 568.46	1698.89 \pm 425.83	1215.57 \pm 856.80	1483.38 \pm 826.52	433.78 \pm 692.20	180.84 \pm 692.20
Mo	2.77 \pm 2.25	0.69 \pm 0.52	N.D	N.D	2.53 \pm 2.09	N.D	4.54 \pm 1.58	2.82 \pm 1.58	0.45 \pm 0.09	0.39 \pm 0.09
Na	149.1 \pm 110.71	85.07 \pm 85.66	254.14 \pm 121.67	277.05 \pm 48.96	177.4 \pm 148.98	42.77 \pm 22.27	125.84 \pm 50.51	105.48 \pm 67.12	14.89 \pm 15.88	13.91 \pm 15.88
Ni	0.98 \pm 0.32	1.21 \pm 0.86	N.D	N.D	6.23 \pm 2.08	12.75 \pm 14.23	8.23 \pm 7.69	7.74 \pm 3.96	5.65 \pm 2.44	4.18 \pm 2.44
P	1026.7 \pm 156.83	907.1 \pm 200.31	250.31 \pm 92.44	277.77 \pm 104.97	888.57 \pm 178.24	818.64 \pm 757.36	612.97 \pm 294.36	552.89 \pm 134.38	319.02 \pm 161.10	350.91 \pm 161.10
Pb	2190.72 \pm 1762.38	1135.41 \pm 666.26	2079.56 \pm 170.23	2052.53 \pm 515.76	2644.25 \pm 2242.71	2691.28 \pm 3265.03	3686.96 \pm 1769.15	3804.61 \pm 2000.13	13.51 \pm 3.96	38.78 \pm 3.96
Sb	53.93 \pm 66.73	15.35 \pm 12.76	77.78 \pm 9.03	73.58 \pm 41.80	68.63 \pm 59.01	1137.25 \pm 1603.31	81.3 \pm 43.20	41.2 \pm 22.44	1.98 \pm 1.32	3.02 \pm 1.32
Se	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Sn	1.63 \pm 1.50	0.63 \pm 0.34	10.02 \pm 0.42	8.18 \pm 5.54	5.02 \pm 4.87	2.79 \pm 3.22	6.73 \pm 2.97	5.65 \pm 5.21	0.67 \pm 0.70	0.33 \pm 0.70
Sr	18.84 \pm 4.73	17.81 \pm 6.44	26.73 \pm 12.71	24.42 \pm 5.26	53.44 \pm 11.62	31.02 \pm 28.25	71.51 \pm 37.26	60.87 \pm 7.13	4.41 \pm 1.13	4.4 \pm 1.13
Ti	107.41 \pm 54.66	151.18 \pm 24.86	18.05 \pm 4.76	36.37 \pm 14.5	33.21 \pm 19.70	9.05 \pm 4.72	119.54 \pm 104.16	62.73 \pm 55.13	4.3 \pm 1.21	9.38 \pm 1.21
Tl	N.D	N.D	N.D	N.D	1.2 \pm 0.45	2.91 \pm 2.91	4.5 \pm 3.55	3.14 \pm 2.00	2.34 \pm 2.85	N.D
V	15.02 \pm 3.14	20.35 \pm 4.10	6.14 \pm 3.11	8.46 \pm 2.63	17.69 \pm 4.53	10.89 \pm 5.89	14.77 \pm 2.60	15.64 \pm 4.97	8.61 \pm 3.70	10.54 \pm 3.70
Zn	1443.43 \pm 956.66	1663.89 \pm 1502.86	971.75 \pm 940.42	530.97 \pm 343.66	2684.43 \pm 2152.50	2695.7 \pm 3258.78	2692.76 \pm 2148.82	4364.41 \pm 1271.17	24.66 \pm 21.91	36.09 \pm 21.91

Adicionalmente, al estudio de suelos, se seleccionaron los 5 metales más prevalentes y tóxicos (aluminio, arsénico, cadmio, mercurio y plomo) y se evaluó la variación de su concentración entre los diferentes lugares de muestreo. Dicha evaluación mostró los siguientes resultados: el aluminio, arsénico y plomo fueron predominantes en todos los puntos de muestreo, tanto en época húmeda como en la seca. El cadmio se encontró en menores concentraciones que los metales antes mencionados pero con representatividad en todos los lugares de muestreo, a diferencia del mercurio que se encontró en concentraciones casi despreciables. Se utilizó la conversión del promedio de concentraciones de los metales a su logaritmo, ya que los valores de los diferentes lugares de muestreo fueron muy lejanos. Por esta razón, los valores de las concentraciones de mercurio se eliminaron (Figuras 9 y 10).

Figura 9. Logaritmo del promedio de concentraciones de metales en suelo por lugar de muestreo en época húmeda.

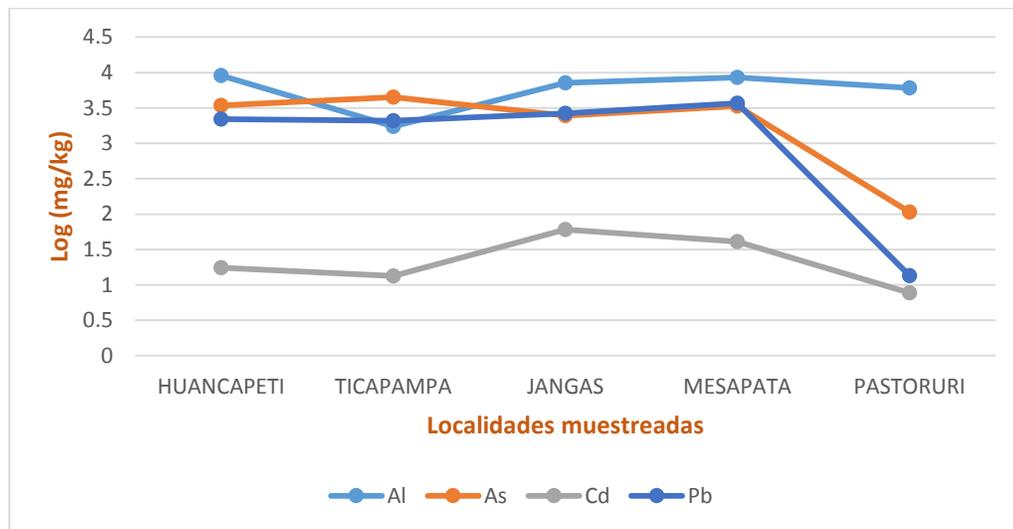
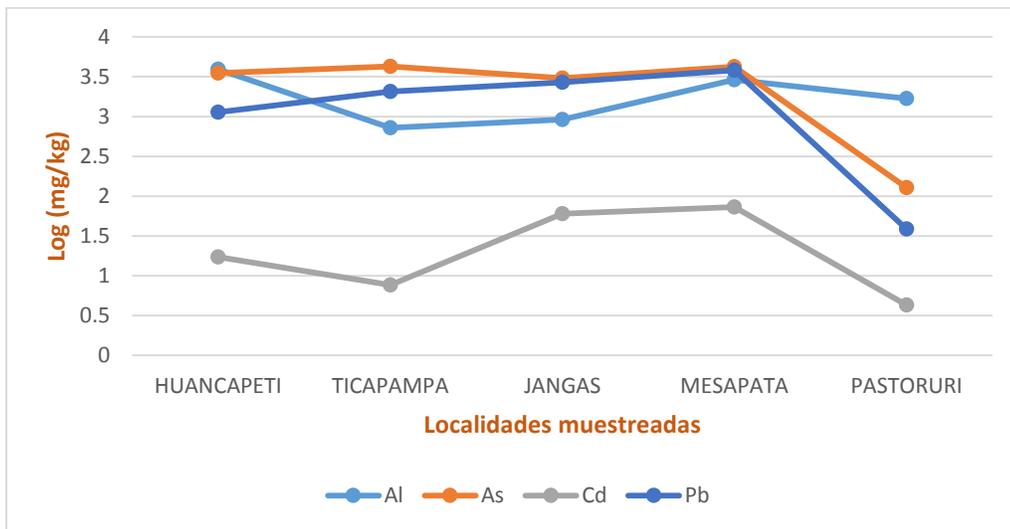


Figura 10. Logaritmo del promedio de concentraciones de metales en suelo por lugar de muestreo en época seca.



6.3 Análisis de metales en especies vegetales

Las especies vegetales colectadas en la época húmeda, y que contaron con características hiperacumuladoras y/o tolerantes, fueron seleccionadas para ser recolectadas en la época seca (Tabla 3). En ambas épocas se encontró un importante número de especies con características hiperacumuladoras (*POACEAE5*, *Distichia muscoides*, *Juncus bufonius*, *Penicetum clandestinum*, *Calamagrostis brevifolia*, *C. ligulata*, *C. glacialis* y *Huperzia crassa*) y tolerantes (*Festuca dolichophylla*, *Calamagrostis ligulata*, *C. brevifolia*, *C. glacialis*, *Juncus arcticus*, *J. bufonius*, *Werneria* sp., *Medicago polymorpha*, *Distichia muscoides* y *Huperzia crassa*) para metales específicos en relación a sus concentraciones en los suelos (Tabla 4). El lugar que presentó más especies hiperacumuladoras para la mayoría de metales fue Pastoruri (6 ejemplares), seguido de Mesapata, Ticapampa y Huancapeti (3 ejemplares en cada uno) y por último, Santa Rosa de Jangas, que poseía solo un ejemplar.

Los valores del FBC para raíces y hojas, y las concentraciones de cada metal en todas las muestras vegetales en época seca y húmeda se encuentran en el Anexo 1 y 2.

VII. DISCUSIÓN

En este estudio se encontraron altas concentraciones de metales en los suelos, provenientes de los drenajes ácidos de mina y de roca, que en algunos lugares, como Pastoruri, mostraron valores de pH de 3.45. Esto puede deberse al dominio de la formación Calipuy, que posee en las secciones superiores rocas sedimentarias metamórficas caracterizadas por estructuras ricas en pirita. La oxidación de la pirita (FeS_2) es la reacción dominante en la zona pro glacial, generando protones y disminuyendo el pH por debajo de 4, lo que resulta en la rápida degradación de rocas ígneas que liberan elevados niveles de metales solubles en el agua (Fortner y otros, 2011). Este fenómeno explica las altas concentraciones de aluminio y hierro en drenajes ricos en metales, que están presentes como plagioclasas y mineral de biotita que forman el batolito de granodiorita de la Cordillera Blanca. Por otro lado, estos niveles de aluminio y hierro corresponden a su presencia generalizada sobre la corteza terrestre, donde forman silicatos, y representan el 8.1% y 5%, respectivamente, del total de minerales (Lutgens y Tarbuck, 2000). Es por ello que las actividades mineras desechan gran cantidad de aluminio, acompañado de cobre, zinc, manganeso, hierro, cromo, cadmio y plomo provenientes de la extracción. Otros metales relacionados al batolito de la Cordillera Blanca, como el níquel, cobalto, estroncio y zinc, probablemente se movilizan también por aumento de la acidez.

Las actividades extractivas en la cuenca del río Santa, como las minas polimetálicas, de oro y de productos no metálicos, y actividades relacionadas, como las plantas concentradoras de minerales, generan desmontes de desechos, como los relaves y depósitos mineros, que en la

mayoría de los casos han sido y son dispuestos sin tomar medidas de seguridad que eviten su dispersión en el ambiente y contacto con los animales y humanos. Al entrar en contacto con el aire y la humedad del ambiente, estos pasivos sufren procesos de oxidación y lixiviación de las impurezas, metales y materiales sulfurosos, similares a los que ocurren en los DAR, pudiendo iniciar una larga cadena de contaminación sobre las lagunas y los cursos de agua. La contaminación producida también está relacionada con la complejidad de las formaciones minerales de los relaves y yacimientos, y con la variación entre los ciclos climáticos, que involucran diferencias en la frecuencia de lluvias y flujos de agua que interactúan con los estos pasivos mineros (MINEM, 1998).

Las altas concentraciones de diferentes metales tóxicos producidos por las concentradoras en los relaves, como el arsénico, plomo, cadmio, cobre y plata, se deben en gran medida al tipo de roca que se extrae de estos lugares, que en su mayoría está compuesto por un conglomerado de muchos metales, que son sometidos a diferentes procesos para su separación. Primero pasan por una etapa llamada “molienda”, que es una de las más costosas y permite una extracción óptima del metal a través de partículas muy finas. Sin embargo, el proceso acarrea una gran liberación de contaminantes, que terminan en los depósitos de relaves luego de haber extraído el metal de interés. Otros procesos para la extracción y recuperación de metales comerciales incluyen técnicas de separación fisicoquímicas, como la concentración por gravedad, separación magnética, separación electrostática, flotación, extracción por solventes, hidrometalurgia de lixiviación, precipitación y amalgamación utilizando mercurio, cuyos desechos son depositados en relaves. Existe también otro tipo de residuos, como los del lixiviado para la extracción de oro y plata, que utiliza cianuro para desestabilizar la estructura de las rocas para la extracción de los

metales. En general, todos estos desechos representan un potencial peligro para la flora y fauna, el funcionamiento de los ecosistemas y la salud de las personas por su alto contenido de metales y sustancias tóxicas (ELAW, 2010).

La potencial toxicidad de los metales en los suelos y desmontes minerales para la flora nativa en las áreas comprendidas en este estudio tiene relación con el bajo pH de los drenajes, como ya se mencionó, el cual influye en la solubilidad de los cationes metálicos y el consecuente aumento de su biodisponibilidad, y con la precipitación de hidróxidos de metales, que aumenta los efectos perjudiciales sobre la flora y fauna terrestre y acuática (Campbell y Stokes, 1985; Pérez, 2011). Estudios en China indican que la contaminación por metales pesados de origen antropogénico es una de las más severas y puede tener una influencia crítica en su biodisponibilidad en el suelo (Yang y otros, 2007), como hemos observado en la presente investigación. Esto resultaría en un riesgo sanitario potencial para la vegetación, animales herbívoros y domésticos, y humanos a través de la cadena alimentaria (Zhuang y otros, 2009).

Luego de una explotación minera, los suelos contienen todo tipo de materiales residuales, que representan graves problemas para el desarrollo de una nueva cubierta vegetal. Entre estos tenemos la ausencia de estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, desequilibrio en el contenido de nutrientes, dificultad para el enraizamiento, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos (Puga y otros, 2006 y referencias citadas). Sin embargo, existen procesos de sucesión ecológica, en los que se forman consorcios de algas, bacterias y musgos, que inician la colonización de estos lugares hostiles y permiten la formación de material orgánico sobre el cual se desarrollarán un grupo de plantas pioneras (Barrera y otros, 2010). En esta investigación

podemos considerar dentro de esta categoría a los géneros *Festuca*, *Calamagrostis*, *Poaceae spp*, *Juncus*, *Cortaderia*, *Schinus*, *Medicago*, *Pennisetum* y *Scirpus*, adaptados a ambientes extremos.

Las plantas no siempre poseen una respuesta negativa frente a una alta concentración de metales. Esto se ha comprobado en la presente investigación, donde muchos géneros y la familia *Poaceae* se comportan como tolerantes e hiperacumuladoras (*Festuca*, *Calamagrostis*, *Juncus*, *Medicago*, *Pennisetum*, *Scirpus*, *Distichia* y *Huperzia*), debido a mecanismos específicos que les permiten fijar, absorber y acumular metaloides y metales no esenciales. Estas características dependen de muchos factores en relación a la transferencia de metales suelo-planta, como las propiedades del mismo suelo, la especie vegetal y la biodisponibilidad del metal para la absorción (Zhuang y otros, 2009 y referencias citadas).

Entre los metales transferidos, el hierro, manganeso, molibdeno, cobre, zinc y níquel son considerados esenciales; otros como el cobalto y aluminio tienen un efecto estimulante para el crecimiento, y otros como el arsénico, cadmio, mercurio y plomo son considerados tóxicos (Taiz y Zeiger, 1998; Gomez, 2002; Ghanati y otros, 2005). La adaptación a suelos metálicos se ha visto también en los mismos géneros y otros, como *Pelargonium*, *Cyperus*, *Echinochloa*, *Nicotiana*, *Cenchrus*, *Helianthus*, *Ricinus*, *Sorghum* y *Brassica* en suelos naturales y preparados, así como en humedales en Argentina, Chapingo y Veracruz (México) y Ancash (Perú) con condiciones de contaminación por metales similares (Orroño, 2002; Rodríguez y otros, 2006; Palomino y otros, 2008; Labra-Cardon y otros, 2012). En este estudio, se han encontrado factores de bioconcentración de 2.85 (Cu), 1.55 (Cr), 12.40 (Ni), 0.86 (Pb), 9.31 (Zn) y 1.18 (Cd) en el género *Distichia* y la familia *Poaceae*, los cuales son muy superiores a los reportados para

Pelargonium (Cd, 0.25; Cu, 0.17; Cr, 1.00; Ni, 0.375; Pb, 0.06; Zn, 1), *Cenchrus* (Pb, 0.5), *Helianthus* (Pb, 0.07), *Ricinus* (Pb, 0.75), *Nicotiana* (Pb, 0.9), *Sorghum* (Pb, 0.4) Y *Brassicca* (Pb, 0.24) en Argentina y México (Orroño, 2002; Rodríguez y otros, 2006). Tomando esto en cuenta, entre los ejemplares colectados en la época húmeda y seca de este estudio, se encontraron 19 especies con potencial biorremediador (*Festuca dolichophylla*, *Calamagrostis ligulata*, *Senecio sp1*, *POACEAE3*, *Calamagrostis brevifolia*, *Juncus arcticus*, *POACEAE4*, *Juncus bufonius*, *Scirpus sp1*, *Medicago polymorpha*, *Pennisetum clandestinum*, *Medicago sp*, *Scirpus sp2*, *Scirpus sp3*, *Werneria sp*, *Calamagrostis glacialis*, *Senecio sp2*, *Distichia muscoides* y *Huperzia crassa*), siendo Pastoruri la localidad que mostró el mayor número. Estas especies podrían ser utilizadas en humedales artificiales para la recuperación de pasivos mineros, como los relaves de Mesapata y Jangas, y tratamiento de aguas ácidas provenientes del DAR en las cabeceras de cuenca y DAM, mediante fitoestabilización, rizofiltración o fitoinmovilización de metales específicos en diferentes tejidos y de acuerdo a las características minerales de cada lugar (Thangavel y Subhram, 2004; Palomino y otros, 2008).

Como se comentó en el párrafo anterior, las plantas encontradas en este estudio acumulan aluminio, arsénico, cadmio y plomo en varios órdenes de magnitud con respecto a las del suelo. La biodisponibilidad de estos metales para la flora nativa, como las especies de la familia Poaceae, que conforma los pastos en la cuenca del río Santa, es una amenaza para el desarrollo de actividades de importancia económica, como la ganadería.

Por otro lado, si los mismos mecanismos de acumulación funcionan en especies vegetales de consumo, que son cultivadas en suelos contaminados por metales, se tiene un enorme riesgo de biomagnificación a través de la cadena alimentaria, pues estos metales tóxicos y otros, como el

cromo y mercurio estarían disponibles para animales y humanos (SAG, 2016). En investigaciones en Alemania se ha estudiado el paso del metal a través de la red trófica analizando larvas de insectos (*Calliptamus italicus* L., *Oedipoda caerulcesens* L., *Oedipoda germanica* Latr.; y *Chorthippus (Glyptobothrus) crassiceps*) que se alimentan de plantas contaminadas con mercurio, cadmio y plomo. Se pudo observar que los insectos almacenaban mayor cantidad de cadmio que la misma planta, es decir, tenían una mayor afinidad (Devkota & Schmidt, 2000). Del mismo modo, investigaciones en China con plomo, cobre y zinc, concluyeron que las larvas del saltamontes *Spodoptera litura* acumulan mayor concentración que las hojas de las plantas en relación al zinc y cobre, y menor concentración de plomo. Esto se debería a que el cobre y zinc participan como micro elementos esenciales (p. ej., el cobre forma parte de la linfa). En la investigación de Zhuang y otros (2009) se consideró, además, la concentración de metales en órganos de pollos que consumieron larvas de saltamontes y se pudo observar que fue menor que en las larvas, sugiriéndose la participación de metalotioneínas para el almacenamiento y acumulación de metales, y su eliminación por las heces, como ruta de evitación. Esto explicaría que no todos los ecosistemas ambientales tienen la misma magnificación, probablemente por las diferencias ecofisiológicas de los metales o las especies. Estos dos ejemplos demuestran el riesgo de biomagnificación de los metales a través de la cadena trófica. Si bien es cierto que algunas especies pueden reaccionar negativamente, otras, como las larvas de insectos y las aves, han desarrollado mecanismos de tolerancia o desintoxicación por medio de enzimas y heces, respectivamente. Esto resulta en aves de corral que pueden alimentarse de estos insectos con concentraciones altas de metales, y que llegan al mercado para consumo humano.

Existen investigaciones sobre casos de biomagnificación e intoxicación en humanos y animales a partir de la influencia de desechos de la actividad minera conteniendo arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio y plomo en áreas agrícolas de cultivo de avena, col china, zanahoria, naranja, plátanos, guayaba, palta y alcachofa (Dickinson y otros, 1987; Dickinson y otros, 1988) Devkota y Schmidt, 2000; Giordani y otros, 2005; Sharma y otros, 2005; Prieto-Garcia y otros, 2006; Sharma y Agrawal, 2006; Yang y otros, 2006; Liu y otros, 2007; Revista Caretas, 2007). En China se evaluó la influencia del polvo y drenajes ácidos conteniendo cobre, zinc, plomo y cadmio en vegetales de consumo humano (arroz, col y espinaca) en diferentes localidades agrícolas alrededor de una mina. Debido a las altas tasas de transpiración y contaminación por el polvo en sus superficies foliares, se encontró una alta concentración de cadmio y plomo en los granos de arroz, y valores de cadmio, plomo y zinc en col china y espinaca, que excedieron la concentración máxima permisible para suelos agrícolas (Zhuang y otros, 2009). Como evidencia de daños en la salud humana, estos autores citan investigaciones de Oliver y otros (1997), Jarup y otros (2003) y Turkdogan y otros (2002) donde se informa que la exposición a plomo y cadmio fue la causante de cáncer al tracto gastrointestinal y enfermedades cardiovasculares, renales, nerviosas y óseas. Además, la exposición a zinc y cobre en altas concentraciones sería dañina a pesar de ser considerados elementos esenciales. La acumulación de ambos metales se debería a la compatibilidad del cadmio con la enzima anhidrasa carbónica receptora de zinc, que posee una estructura química similar, y afectaría el metabolismo de ácidos nucleicos (Zhuang y otros, 2009), y como ya se ha mencionado, a enzimas – metalotioneínas en animales, que poseen una actividad similar a las fitoquelatinas en plantas, donde forman compuestos quelantes.

Dickinson y otros (1988) encontraron elevadas concentraciones de cobre en cultivos de café en Kenia debido a la intensa exposición de las plantas a fungicidas e insecticidas, lo que indica un grave problema ambiental. En Costa Rica, por ejemplo, se ha reportado también el uso de este tipo de plaguicidas en plantaciones de plátano, encontrándose concentraciones altas de cobre y daños por toxicidad en la vegetación. Si bien el café en dicha investigación no manifestó ningún signo de toxicidad, se determinó que al caer las partes aéreas regresaban el cobre al suelo, almacenándolo entre la materia orgánica debido a su gran afinidad. Posteriormente, el metal sería lixiviado muy lentamente, lo que provocaría un aumento de su concentración en el suelo y la transferencia continua en la plantación (Dickinson y otros, 1988).

Estos ejemplos representan información importante para tomar en cuenta al momento de evaluar futuros eventos que se podrían producir en la cuenca del río Santa si no se tiene un buen manejo de los desechos metálicos que afectan directamente las fuentes de agua y los suelos. La presente investigación propone un panel de plantas con potencial biorremediador de suelos impactados por metales, y proporciona una base para continuar una investigación más profunda con la finalidad de recuperar estos ecosistemas.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se lograron identificar 19 plantas capaces de sobrevivir a elevadas concentraciones de metales que acumulan en sus tejidos, y que han sido seleccionadas con potencial biorremediador: 10 a nivel de género y especie; 7 a nivel de género y 2 de la familia Poaceae.
2. Los suelos presentaron diferentes concentraciones para cada uno de los 21 metales detectados. Entre ellos, los más abundantes en los suelos de las zonas de muestreo en ambas temporadas fueron el aluminio, arsénico y plomo. El lugar más contaminado fue el relave de Mesapata, considerando la concentración de los 5 metales más tóxicos para la salud humana, animal y vegetal: aluminio (9832 mg/kg), arsénico (5000 mg/kg), plomo (6000 mg/kg), cadmio (118.99 mg/kg) y mercurio (0.413 mg/kg).
3. Al evaluar la capacidad de bioconcentración de las especies vegetales seleccionadas y relacionarla con las concentraciones encontradas en los suelos, se clasificaron como hiperacumuladoras (POACEAE5, *Distichia muscoides*, *Juncus bufonius*, *Penicetum clandestinum*, *Calamagrostis brevifolia*, *C. ligulata*, *C. glacialis* y *Huperzia crassa*) y tolerantes (*Festuca dolichophylla*, *Calamagrostis ligulata*, *C. brevifolia*, *C. glacialis*, *Juncus arcticus*, *J. bufonius*, *Werneria* sp., *Medicago polymorpha*, *Distichia muscoides* y *Huperzia crassa*) a diferentes metales de origen natural y antrópico, como la plata, aluminio, arsénico, cromo, mercurio, manganeso, cadmio, cobre, hierro, níquel, plomo, boro.

4. El terreno impactado por el drenaje ácido de Pastoruri presentó el mayor número de plantas colonizadoras con alto contenido de metales, lo que representa una adaptación a ambientes extremos naturales, exacerbados por el retiro de los glaciares causado por el cambio climático.

IX. BIBLIOGRAFIA.

Aduvire O. Residuos mineros: Aprovechamiento y tratamiento con tecnologías emergentes.

Curso: Tratamiento de aguas ácidas de mina. Lima-Perú. 2006

Aliaga D, Palomino J, Yupanqui L, Poma S, Acuña H y Lopez L.. Capacidad de las plantas nativas en ambientes con drenaje ácido para la bioacumulación de metales pesados. Ancash, Perú. Aporte Santiaguino. 2009

ANA (Autoridad Nacional del Agua). Delimitación y codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú . Lima-Perú: ANA. 2008

ANA (Autoridad Nacional del Agua). Demarcación y delimitación de las Autoridades Administrativas del Agua. Lima-Perú. ANA. 2009 .

ANA (Autoridad Nacional del Agua). Dinámica de los Glaciares en 16 Cordilleras Nevada del Perú según HIDRANDINA S.A. (1989) Y UGRH (2012). Foro Internacional de Glaciares. Huaraz, Ancash - Perú. Ministerio de Agricultura. 2013.

ANA (Autoridad Nacional del Agua). Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas. Lima-Perú. ANA. 2014

Anderson W. Innovative Site Remediation Technology. New York - U.S.A.: AAEE. 1995

Baker A. Ecophysiological aspects of zinc tolerance in *Silene maritima* With. New Phytologist. 1978; 80: 635-642.

Baker A. Accumulators and excluders - Strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. 1981; 3 (1-4): 643-654.

Baker A y Walker P. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. Heavy metal uptake by tolerant plants: evolutionary aspects. CRC, Press, Boca Raton, FL. 1990; 2: 155-165.

Baraer M, Mark B, Mckensie J, Condom T, Bury J, Huh K y Rathay S. Recesión de glaciares y recursos hídricos en la Cordillera Blanca del Perú. *Journal of Glaciology*. 2012; 58 (207), 1-18.

Bardales E. COP 20: Perdida de nevados en Peru equivale al abastecimiento de agua de Lima por 10 años. *GESTIÓN*. Lunes, 01 de diciembre del 2014. Portada Economía.

Barrera J, Contreras S, Garzón N, Moreno A y Montoya S. Manual para la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados del distrito capital. Bogotá, Colombia: Secretaria Distrital de ambiente (SDA), Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). 2010.

Benefield L y Randal C. Biological process desing for wastewater treatment. N.J: Pretice hall. 1981.

Bervoets L y Blust R. Effects of pH on cadmium and zinc uptake by the midge larvae *Chironomus riparus*. *Aquatic Toxicology*. 2000; 49: 145-157.

Brako L y Zarucchi J. Catalogue of the flowering plants and Gymnosperms of Perú. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Garden*. 1993; 45: 1- 1286.

Campbell P, y Stokes P. Acidification and toxicity of metals to aquatic biota. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1985; 52: 2034-2049.

DESA (Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental). Grupo Técnico Control y Recuperación de la Calidad de las Aguas del río Santa. Comisión Ambiental Regional Sierra Ancash - CAR, Ancash. 2002.

DESA (Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental). Vertimientos y pasivos ambientales en la cuenca del río Santa. 2002.

Devkota B y Schmidt G. Accumulation of heavy metals in food plants and grasshoppers from the Taigtos Mountains, Greece. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2000; 78: 85-91.

Dickinson N , Leep N , y Surtan G. Lead and potential health risks from subsistence food crops in urgan Kenya. Environmental Geochemistry and Health. 1987; 9: 37-42.

Dickinson N, Lepp N y Surtan G. Further Studies on Copper Accumulation in Kenyan Coffea arabica Plantations. Agriculture, Ecosystems and Environment. 1988: 181-190.

ELAW (Environmental Law Alliance Worldwide). Guía para evaluar EIAs DE proyectos mineros. U.S.A: Environmental Law Alliance Worldwide (ELAW). 2010.

Ernst W. Evolution of metal tolerance in higher plants. Forest Snow and Landsape Research 2006; 80(3): 251-274.

Fortner S, Mark, B, McKenzie J, Bury J, Trierweiler, A , Bums, P y Munk, L. Elevated stream trace and minor element concentrations in the foreland of receding tropical glaciers. *Applied Geochemistry*. 2011; 26: 1792-1801.

Fundacion Solón. Víctimas silenciosas del cambio climático: Los glaciares y el agua. TUNUPA. Bolivia: Fundacion Solón. 2010.

Ghanati F , Morita A , y Yokota H. Effects of aluminium on the growth of tea plant and activation of antioxidant system. *Plant and Soil*. 2005; 276(1-2): 133-141.

Giordani C, Cecchi S y Zanchi C. Phytoremediation of soil polluted by nickel using agricultural crops. *Environmental Management* . 2005; 36 (5): 675-681.

Gomez A. The nanoparticle formation and uptake of precious metals by living alfalfa plants. Master Thesis. El Paso, University of Texas. 2002; 81.

HIDRANDINA S.A. Inventario de Glaciares del Perú. 2da Parte. CONCYTEC. 1989.

INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico). Estudio geodinámico de la cuenca del río Santa. Lima-Peru : INGEMMET. 1989.

INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico). Informe geoeconómico de la Región Ancash. Ancash: Direccion de Recursos Minerales y Energeticos. Programa de Metalurgia. 2011.

INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). Mapa Ecológico del Perú - Guía explicativa. Lima - Perú : INRENA. 1995.

IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change). Cambio Climático y Biodiversidad. IPCC. 2002.

Labra-Cardon D, Guerrero-Zuñiga L, Rodriguez-Tovar A, Montes-Villafan S, Perez-Jimenez S y Rodriguez-Dorantes A. Respuesta de crecimiento y tolerancia a metales pesados de *Cyperus elegans* y *Echinochloa polystachya* inoculadas con una rizobacteria aislada de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petroleo. Revista Internacional Contaminación Ambiental. 2012; 7-16.

Lievens C, Yperman J, Vangronsveld J y Carleer R. Study of the potential valorisation of heavy metal contaminated biomass via phytoremediation by fast pyrolysis: Part I. Influence of temperature, biomass species and solid heat carrier on the behaviour of heavy metals. *Fuel*. 2008; 87: 1894-1905.

Liu Y, Kong G, Jia Q, Wang F, Xu R, Li F, Wang Y y Zhou H. Effects of soil properties on heavy metal accumulation in flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee) in Pearl River Delta, China. Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes. 2007; 42 (2): 219-227.

Llagas W y Guadalupe E. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. 2006; 85-96.

Llugany M, Tolrá R, Poschnrieder C, y Barceló J. Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre?. Unidad de Fisiología Vegetal. Facultad de Biociencia. Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra. Ecosistemas. 2007; 4-9.

Lutgens F y Tarbuck E. Essentials of Geology. Prentice Hall. 2000

Mark B y McKenzie J. Tracing increasing tropical Andean glacier melt with stable isotopes in water. Environmental Science and Technology. 2007; 40(20): 6955-6960.

Mehes-Smith M, NKongolo K y Cholewa E. Coping Mechanisms of plants to metal contaminated soil. Environmental Change and Sustainability 2013; 978-953.

MINEM (Ministerio de Energía y Minas). La Minería en el Perú. California: Editores Tecnicos Asociados. 1998; 34.

MINEM (Ministerio de Energía y Minas). Guia Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas. 2015 (Revision: 27 de Junio 2016). MINEM: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/manedrenaje.pdf>

Orroño D. Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium*: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad. Argentina: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 2002.

Padilla J, Ramirez E, Barra R y Barreto J. Niveles de concentración de metales pesados en especies vegetales emergentes en el pasivo minero ambiental de Ticapampa, Catac, Huaraz, Perú. Aporte Santiaguino. 2009; 21-25.

Palomino E, Leyva M, Poma M, Mostacero J y Mejia F. Estudio de Humedales para la biorremediación de drenajes ácidos en la quebrada de Quilcayhuanca, Ancash - Perú. Ancash, Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 2008.

Palomino E, Paredes M y Villanueva A. Biorremediación de Drenajes Ácidos de Mina (DAM) mediante el Sistema de Humedales. IV Congreso Internacional de Medio Ambiente en Minería y Metalurgia. IV Simposio Nacional de Seguridad Minera y Desarrollo Sostenible. Lima-Perú. 2005.

Pérez J. Biodisponibilidad de metales pesados en suelos mineros contaminados enmendados con materiales orgánicos. 100cias@uned. 2011; 4: 31-34.

Peterson P. Unusual accumulations of elements by plants and animals. Science Progress Oxford. 1971; 59: 505-526.

Peterson P. Element accumulation by plants and their tolerance of toxic mineral soils. Proceedings of the International Conference on Heavy Metals in the Environment. 1975; 2 :39-54.

Pouyaud B, Yerren J y Zapata M. Glaciares y recursos hídricos en la cuenca del río Santa. Huaraz-Peru. 2003 (Revisado 30 de Junio 2016). Senamhi: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/paper_RRHHSANTA.pdf

Prieto-García F, Lechuga M, Méndez M, Barrado E y Gaytán J. Daños tóxicos en tejidos vegetales producidos por aguas contaminadas con arsénico en Zimapán, Hidalgo, México. Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Campinas. 2006; 26 (1): 94-97.

Puga S, Sosa M, Lebgue T, Quintana C y Campos A. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. Lima.: Universidad Nacional Agraria La Molina. 2006.

Rascio N. Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. *Oikos*. 1977; 29: 250-253.

Revista Caretas. Mala espina en sierra exportadora. 2007; 1959: 33.

Rittmann B. Microbial ecology to manage processes in environmental biotechnology. *Trends in Biotechnology*. 2006; 24: 261-266.

Rodríguez J, Rodríguez H, Reyes G, Martínez J y Lara J. Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 2006; 239-245.

SAG (Servicio Agrícola y Ganadero). Biblioteca Digital. Revision: 30 de Junio de 2016. Metales pesados en los cultivos. Obtenido de Biblioteca Digital: http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/6_metales_pesados_cultivos.pdf

Sas-Nowosielska A, Kucharski R, Malkowski E, Pogrzeba M, Kuperberg JM y Krynski K. Phytoextraction crop disposal-an unsolved problem. *Environmental Pollution*. 2004; 128: 373-379.

Secretaria de la Comunidad Andina, Programa de las Naciones Unida para el medio ambiente y la Agencia Española de Cooperacion Internacional. ¿El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina. Lima-Perú: Libélula Comunicación, Ambiente y Desarrollo S.A.C. 2007.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). Impacto hidrológico del fenómeno El Niño y La Niña - Cuenca del río Santa. Lima - Perú. 2005.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). Escenarios climáticos para la cuenca del río Santa al 2030. Lima - Perú. 2010.

Sharma A, Brar M y Malhi S. Critical Toxic Ranges of Chromium in Spinach Plants and in Soil. *Journal of Plant Nutrition*. 2005; 28: 1555-1568.

Sharma R y Agrawal M. Single and Combined Effects of Cadmium and Zinc on Carrots: Uptake and Bioaccumulation. *Journal of Plant Nutrition*. 2006; 29 (10): 1791-1804.

Silva R. Procesos Geodinámicos y Peligros Geológicos en los Depositos Morrénicos de la Laguna Palcacocha Cordillera Blanca - Ancash. Ancash: Facultad de Ingeniería Geológica y Geográfica, Universidad San Antonio Abad del Cusco. 2012.

Taiz L y Zeiger E. *Plant physiology*. 2nd ed. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Mass. 1998.

Thangavel P y Subhram C. Phytoextraction - Role of hyper accumulators in metal contaminated soils. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. 2004; Part B 70 (1): 109-130.

Tirado P. Experiencias de los mecanismos de pagos por servicios ambientales en las Áreas Naturales Protegidas. Lima-Perú: SERNANP-MINAM. 2010.

Trek Peru. Revisado: 8 de Febrero de 2016. All-Perú. Obtenido de <http://www.all-peru.info/spanish/peru/land.html>

Villanueva R. Características de la cuenca del río Santa. Huaraz, Perú.: Biblioteca Nacional del Perú. 2011.

Vulle M, Francou B, Wagnon P, Juen I, Kaser G, Mark B y Bradley R. Climate Change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*. 2008; 89(3): 79-96.

Yang Q, Li H y Long F. Heavy Metals of Vegetables and Soils of Vegetable Bases in Chongqing, Southwest China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2007; 130: 271-279.

Zhuang P, McBride M, Xia, H, Li N y Li Z. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of the Total Environment*. 2009; 1551-1561.

X. ANEXOS

ANEXO 1. Cálculo del factor de bioconcentración (FBC) en plantas colectadas en las zonas de muestreo en época húmeda.

HAnálisis001	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	2.247	9.348	22.431	0.100	0.417	INDICADORA
Aluminio (Al)	1053.140	4012.278	8509.569	0.124	0.472	INDICADORA
Arsénico (As)	3274.281	6000.000	6000.000	0.546	1.000	-
Boro (B)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Bario (Ba)	6.765	17.666	39.630	0.171	0.446	INDICADORA
Berilio (Be)	0.066	0.335	0.571	0.115	0.586	INDICADORA
Calcio (Ca)	2650.600	2386.066	3138.101	0.845	0.760	INDICAD E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	9.406	30.767	52.221	0.180	0.589	INDICADORA
Cerio (Ce)	6.364	23.636	48.613	0.131	0.486	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.839	1.259	1.492	0.562	0.844	INDICADORA
Cromo (Cr)	0.490	1.469	2.155	0.227	0.682	INDICADORA
Cobre (Cu)	68.448	158.795	222.055	0.308	0.715	INDICADORA
Hierro (Fe)	12478.857	20000.000	20000.000	0.624	1.000	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	8032.278	6565.978	1461.623	5.495	4.492	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	0.479	2.117	5.570	0.086	0.380	INDICADORA
Magnesio (Mg)	360.342	758.806	2240.766	0.161	0.339	INDICADORA
Manganeso (Mn)	573.875	697.705	932.437	0.615	0.748	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	1.621	3.590	6.491	0.250	0.553	INDICADORA
Sodio (Na)	130.534	554.316	154.238	0.846	3.594	TOLERANTE
Níquel (Ni)	<0.04	<0.04	<0.04	-	-	-
Fósforo (P)	949.031	1187.045	1333.896	0.711	0.890	INDICADORA
Plomo (Pb)	519.441	2070.139	5000.000	0.104	0.414	INDICADORA
Antimonio (Sb)	37.184	142.603	195.705	0.190	0.729	INDICADORA
Selenio (Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.955	2.191	4.870	0.196	0.450	INDICADORA
Estroncio (Sr)	10.787	13.653	22.576	0.478	0.605	INDICADORA
Titanio (Ti)	13.005	42.249	51.228	0.254	0.825	INDICADORA
Talio (Tl)	<0.3	<0.3	0.519	-	-	-
Vanadio (V)	1.448	6.055	13.007	0.111	0.465	INDICADORA
Zinc (Zn)	958.683	2244.102	3263.633	0.294	0.688	INDICADORA
HAnálisis002	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	3.224					
Aluminio (Al)	1178.861					
Arsénico (As)	1177.481					
Boro (B)	5.910					
Bario (Ba)	14.542					
Berilio (Be)	0.085					

Calcio (Ca)	4691.176					
Cadmio (Cd)	5.630					
Cerio (Ce)	4.079					
Cobalto (Co)	1.929					
Cromo (Cr)	1.124					
Cobre (Cu)	27.984					
Hierro (Fe)	4842.124					
Mercurio (Hg)	<0.06					
Potasio (K)	9328.712					
Litio (Li)	0.471					
Magnesio (Mg)	469.854					
Manganeso (Mn)	1376.876					
Molibdeno (Mo)	2.081					
Sodio (Na)	2535.504					
Níquel (Ni)	0.232					
Fósforo (P)	1447.614					
Plomo (Pb)	474.323					
Antimonio (Sb)	21.405					
Selenio(Se)	<0.3					
Estaño (Sn)	0.809					
Estroncio (Sr)	27.668					
Titanio (Ti)	10.538					
Talio(Tl)	0.312					
Vanadio (V)	0.767					
Zinc (Zn)	1280.595					
HAnálisis003	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)			4.433			
Aluminio (Al)			8228.354			
Arsénico (As)			1570.717			
Boro (B)			<0.3			
Bario (Ba)			36.457			
Berilio (Be)			0.106			
Calcio (Ca)			2771.689			
Cadmio (Cd)			4.612			
Cerio (Ce)			13.948			
Cobalto (Co)			2.707			
Cromo (Cr)			3.307			
Cobre (Cu)			32.003			
Hierro (Fe)			16565.447			
Mercurio (Hg)			<0.06			
Potasio (K)			752.050			
Litio (Li)			5.506			
Magnesio (Mg)			2132.809			
Manganeso (Mn)			590.973			
Molibdeno (Mo)			0.847			
Sodio (Na)			332.126			
Níquel (Ni)			1.071			
Fósforo (P)			1029.858			
Plomo (Pb)			622.591			
Antimonio (Sb)			15.944			

Selenio(Se)			<0.3			
Estaño (Sn)			0.864			
Estroncio (Sr)			22.291			
Titanio (Ti)			60.030			
Talio(Tl)			<0.3			
Vanadio (V)			11.037			
Zinc (Zn)			836.900			
HAnalisis004	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)		1.358	6.141		0.221	INDICADORA
Aluminio (Al)		1496.578	8718.138		0.172	INDICADORA
Arsénico (As)		435.526	863.874		0.504	INDICADORA
Boro (B)		14.474	<0.3		-	TOLERANTE
Bario (Ba)		21.210	40.769		0.520	INDICADORA
Berilio (Be)		0.028	0.086		0.325	INDICADORA
Calcio (Ca)		6103.497	2182.724		2.796	TOLERANTE
Cadmio (Cd)		3.706	3.919		0.946	INDICADORA
Cerio (Ce)		3.186	13.574		0.235	INDICADORA
Cobalto (Co)		1.852	2.248		0.824	INDICADORA
Cromo (Cr)		0.867	3.458		0.251	INDICADORA
Cobre (Cu)		27.284	40.945		0.666	INDICADORA
Hierro (Fe)		3017.923	13772.233		0.219	TOLERANTE
Mercurio (Hg)		<0.06	<0.06		-	-
Potasio (K)		12335.408	678.366		18.184	TOLERANTE
Litio (Li)		<0.3	6.042		-	INDICADORA
Magnesio (Mg)		630.193	2372.389		0.266	INDICADORA
Manganeso (Mn)		963.480	355.874		2.707	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)		<0.2	1.044		-	INDICADORA
Sodio (Na)		4507.078	245.398		18.366	TOLERANTE
Níquel (Ni)		0.344	1.430		0.240	INDICADORA
Fósforo (P)		1510.057	1098.346		1.375	TOLERANTE
Plomo (Pb)		400.344	685.184		0.584	INDICADORA
Antimonio (Sb)		9.574	18.236		0.525	INDICADORA
Selenio(Se)		<0.3	<0.3		-	-
Estaño (Sn)		0.615	1.070		0.575	INDICADORA
Estroncio (Sr)		34.421	11.690		2.944	TOLERANTE
Titanio (Ti)		13.663	75.093		0.182	INDICADORA
Talio(Tl)		<0.3	<0.3		-	-
Vanadio (V)		1.001	12.161		0.082	INDICADORA
Zinc (Zn)		2314.594	402.304		5.753	TOLERANTE
HAnalisis001R	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.641	25.158	30.961	0.021	0.813	TOLERANTE
Aluminio (Al)	221.147	3200.975	7411.365	0.030	0.432	TOLERANTE
Arsénico (As)	129.917	3920.157	6000.000	0.022	0.653	TOLERANTE
Boro (B)	1.741	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	1.830	16.257	34.659	0.053	0.469	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	<0.02	0.064	-	-	INDICADORA
Calcio (Ca)	1072.086	1579.455	1666.009	0.644	0.948	INDICADORA
Cadmio (Cd)	1.009	14.642	20.591	0.049	0.711	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.884	15.318	28.676	0.031	0.534	INDICADORA

Cobalto (Co)	0.164	2.582	2.901	0.056	0.890	INDICADORA
Cromo (Cr)	2.042	14.664	4.927	0.414	2.976	TOLERANTE
Cobre (Cu)	11.198	154.617	211.261	0.053	0.732	INDICADORA
Hierro (Fe)	893.378	18879.170	20000.000	0.045	0.944	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	0.601	0.082	-	7.332	TOLERANTE
Potasio (K)	6744.849	2670.036	853.011	7.907	3.130	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	<0.3	2.103	7.231	-	0.291	INDICADORA
Magnesio (Mg)	273.721	727.331	3033.049	0.090	0.240	INDICADORA
Manganeso (Mn)	226.065	362.903	680.803	0.332	0.533	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.655	2.063	-	0.318	INDICADORA
Sodio (Na)	84.398	180.476	143.089	0.590	1.261	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.262	0.539	0.474	0.552	1.136	TOLERANTE
Fósforo (P)	425.773	821.424	954.736	0.446	0.860	INDICADORA
Plomo (Pb)	147.499	1877.942	4348.345	0.034	0.432	INDICADORA
Antimonio (Sb)	2.610	64.273	78.534	0.033	0.818	INDICADORA
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.484	1.470	2.033	0.238	0.723	INDICADORA
Estroncio (Sr)	1.864	6.631	12.319	0.151	0.538	INDICADORA
Titanio (Ti)	4.780	53.768	100.934	0.047	0.533	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	0.291	4.940	14.724	0.020	0.336	INDICADORA
Zinc (Zn)	225.932	1473.781	1916.944	0.118	0.769	INDICADORA
HAnalisis002R	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.811	7.623	7.474	0.108	1.020	TOLERANTE
Aluminio (Al)	1830.905	8884.538	10406.550	0.176	0.854	TOLERANTE
Arsénico (As)	212.656	2377.073	2592.184	0.082	0.917	INDICADORA
Boro (B)	2.021	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	14.573	32.123	44.945	0.324	0.715	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.214	0.220	-	0.974	INDICADORA
Calcio (Ca)	2411.913	1266.299	1472.387	1.638	0.860	INDICADORA E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	2.544	10.500	13.806	0.184	0.761	INDICADORA
Cerio (Ce)	5.807	38.028	30.475	0.191	1.248	TOLERANTE
Cobalto (Co)	1.114	5.108	7.414	0.150	0.689	INDICADORA
Cromo (Cr)	14.243	9.055	4.590	3.103	1.973	TOLERANTE E HIPERACUM
Cobre (Cu)	24.627	530.821	127.073	0.194	4.177	TOLERANTE
Hierro (Fe)	4709.455	20000.000	20000.000	0.235	1.000	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	16875.326	957.625	670.577	25.165	1.428	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	1.448	4.842	10.372	0.140	0.467	INDICADORA
Magnesio (Mg)	1797.324	2285.403	4030.387	0.446	0.567	INDICADORA
Manganeso (Mn)	1049.707	670.176	1018.441	1.031	0.658	INDICADORA E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	1.940	1.896	5.343	0.363	0.355	INDICADORA
Sodio (Na)	168.482	95.692	32.824	5.133	2.915	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	0.717	0.805	1.072	0.668	0.751	INDICADORA
Fósforo (P)	3127.770	864.980	1002.360	3.120	0.863	INDICADORA E HIPERACUM

Plomo (Pb)	174.724	1484.544	1530.657	0.114	0.970	INDICADORA
Antimonio (Sb)	4.105	30.214	18.111	0.227	1.668	TOLERANTE
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.528	1.053	0.801	0.660	1.315	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	16.273	25.227	20.883	0.779	1.208	TOLERANTE
Titanio (Ti)	50.539	110.694	166.388	0.304	0.665	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	2.757	14.878	19.099	0.144	0.779	INDICADORA
Zinc (Zn)	325.223	906.369	1220.125	0.267	0.743	INDICADORA
HAnalisis003R	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	3.144	0.907	3.315	0.948	0.274	INDICADORA
Aluminio (Al)	831.102	898.044	9525.713	0.087	0.094	INDICADORA
Arsénico (As)	409.932	148.181	2215.399	0.185	0.067	INDICADORA
Boro (B)	30.117	6.051	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	9.180	7.883	36.570	0.251	0.216	INDICADORA E HIPERACUM
Berilio (Be)	<0.02	<0.02	0.062	-	-	INDICADORA
Calcio (Ca)	15732.439	1739.012	654.179	24.049	2.658	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	16.689	3.776	9.621	1.735	0.392	INDICADORA E HIPERACUM
Cerio (Ce)	3.624	3.576	31.585	0.115	0.113	INDICADORA
Cobalto (Co)	2.164	0.800	8.843	0.245	0.090	INDICADORA E HIPERACUM
Cromo (Cr)	2.802	2.628	4.397	0.637	0.598	INDICADORA E HIPERACUM
Cobre (Cu)	40.880	23.032	127.204	0.321	0.181	INDICADORA E HIPERACUM
Hierro (Fe)	2825.626	2397.524	20000.000	0.141	0.120	INDICADORA E HIPERACUM
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	28653.361	10943.550	642.366	44.606	17.036	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	0.959	0.510	10.782	0.089	0.047	INDICADORA E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	2364.819	573.075	4568.702	0.518	0.125	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	866.909	173.754	1039.238	0.834	0.167	INDICADORA E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	2.493	-	-	INDICADORA
Sodio (Na)	197.426	168.254	23.099	8.547	7.284	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	0.828	0.258	1.083	0.765	0.238	INDICADORA E HIPERACUM
Fósforo (P)	2866.528	1746.278	911.106	3.146	1.917	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	325.474	149.800	1285.336	0.253	0.117	INDICADORA E HIPERACUM
Antimonio (Sb)	13.845	2.164	11.485	1.205	0.188	INDICADORA E HIPERACUM
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.518	0.378	0.558	0.929	0.678	INDICADORA E HIPERACUM
Estroncio (Sr)	73.415	16.761	20.447	3.590	0.820	INDICADORA E HIPERACUM

Titanio (Ti)	19.710	28.260	196.456	0.100	0.144	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	1.369	1.521	18.405	0.074	0.083	INDICADORA
Zinc (Zn)	1432.261	670.595	806.136	1.777	0.832	INDICADORA E HIPERACUM
HAnálisis004R	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.757	7.110	14.206	0.053	0.500	INDICADORA
Aluminio (Al)	302.551	4160.401	10971.006	0.028	0.379	TOLERANTE
Arsénico (As)	255.715	1782.766	4778.875	0.054	0.373	INDICADORA
Boro (B)	4.021	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	4.022	18.903	30.247	0.133	0.625	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	<0.02	0.123	-	-	INDICADORA
Calcio (Ca)	2101.339	2295.110	1727.897	1.216	1.328	TOLERANTE
Cadmio (Cd)	1.144	12.761	17.064	0.067	0.748	INDICADORA
Cerio (Ce)	1.365	15.264	38.862	0.035	0.393	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.160	2.594	4.313	0.037	0.601	INDICADORA
Cromo (Cr)	2.990	12.724	3.952	0.756	3.220	TOLERANTE
Cobre (Cu)	26.733	126.664	400.206	0.067	0.316	INDICADORA
Hierro (Fe)	1218.865	15544.073	20000.000	0.061	0.777	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	13751.203	1927.553	847.770	16.220	2.274	TOLERANTE
Litio (Li)	<0.3	2.145	6.080	-	0.353	INDICADORA
Magnesio (Mg)	526.429	721.741	2243.587	0.235	0.322	INDICADORA
Manganeso (Mn)	224.155	758.888	603.320	0.372	1.258	TOLERANTE E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.527	1.132	-	0.466	INDICADORA
Sodio (Na)	105.554	107.199	112.899	0.935	0.950	INDICADORA
Níquel (Ni)	0.465	0.810	0.777	0.598	1.042	TOLERANTE
Fósforo (P)	1234.333	1060.466	856.633	1.441	1.238	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	127.595	1275.793	1862.933	0.068	0.685	INDICADORA
Antimonio (Sb)	4.025	38.805	39.489	0.102	0.983	INDICADORA
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.589	0.814	1.201	0.490	0.678	INDICADORA
Estroncio (Sr)	6.648	12.980	21.667	0.307	0.599	INDICADORA
Titanio (Ti)	5.959	60.273	101.764	0.059	0.592	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	0.363	6.507	16.673	0.022	0.390	INDICADORA
Zinc (Zn)	266.477	1618.638	1657.945	0.161	0.976	INDICADORA
TAnálisis001	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	2.946	41.886	23.748	0.124	1.764	TOLERANTE
Aluminio (Al)	201.612	1065.223	869.900	0.232	1.225	TOLERANTE
Arsénico (As)	426.404	5635.830	4256.331	0.100	1.324	TOLERANTE
Boro (B)	116.862	31.913	9.573	12.207	3.334	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	5.985	20.514	23.448	0.255	0.875	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	<0.02	<0.02	-	-	-
Calcio (Ca)	3629.242	3487.503	1155.243	3.142	3.019	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	2.475	8.754	4.592	0.539	1.906	TOLERANTE

Cerio (Ce)	1.339	8.871	8.375	0.160	1.059	TOLERANTE
Cobalto (Co)	0.434	1.682	0.883	0.491	1.905	TOLERANTE
Cromo (Cr)	4.176	19.276	0.669	6.243	28.812	TOLERANTE
Cobre (Cu)	46.438	184.779	113.626	0.409	1.626	TOLERANTE
Hierro (Fe)	1444.973	13713.607	13968.760	0.103	0.982	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	9.895	0.782	-	12.653	TOLERANTE
Potasio (K)	8837.002	4104.552	924.900	9.555	4.438	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	31.038	8.264	5.777	5.373	1.430	TOLERANTE E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	526.614	555.019	294.006	1.791	1.888	TOLERANTE
Manganeso (Mn)	150.244	234.602	103.821	1.447	2.260	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.273	<0.2	-	-	TOLERANTE
Sodio (Na)	2591.713	1561.495	226.172	11.459	6.904	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	0.229	0.649	<0.04	-	-	TOLERANTE
Fósforo (P)	1028.903	999.481	164.734	6.246	6.067	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	136.215	1086.468	2092.106	0.065	0.519	INDICADORA
Antimonio (Sb)	7.624	105.057	87.544	0.087	1.200	TOLERANTE
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	1.010	4.764	10.476	0.096	0.455	INDICADORA
Estroncio (Sr)	21.152	27.784	24.881	0.850	1.117	TOLERANTE
Titanio (Ti)	2.625	14.878	13.928	0.188	1.068	TOLERANTE
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	0.299	4.001	3.414	0.088	1.172	TOLERANTE
Zinc (Zn)	301.309	704.564	395.517	0.762	1.781	TOLERANTE
TAnálisis002	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	5.305	23.846	25.758	0.206	0.926	INDICADORA
Aluminio (Al)	252.774	3420.617	2924.401	0.086	1.170	TOLERANTE
Arsénico (As)	724.322	2915.845	4012.157	0.181	0.727	INDICADORA
Boro (B)	54.601	28.177	11.918	4.581	2.364	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	8.505	54.850	59.718	0.142	0.918	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.213	0.181	-	1.179	TOLERANTE
Calcio (Ca)	4253.608	4796.452	3439.015	1.237	1.395	TOLERANTE
Cadmio (Cd)	8.878	29.732	29.435	0.302	1.010	TOLERANTE
Cerio (Ce)	2.320	22.837	20.865	0.111	1.095	TOLERANTE
Cobalto (Co)	0.788	9.967	13.803	0.057	0.722	INDICADORA
Cromo (Cr)	2.877	5.879	2.144	1.342	2.742	TOLERANTE
Cobre (Cu)	304.016	445.917	622.875	0.488	0.716	INDICADORA
Hierro (Fe)	2090.152	19678.712	20000.000	0.105	0.984	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	1.778	1.112	-	1.599	TOLERANTE
Potasio (K)	14111.049	1725.402	936.367	15.070	1.843	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	17.732	15.732	12.838	1.381	1.225	TOLERANTE E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	594.308	1818.770	1223.938	0.486	1.486	TOLERANTE
Manganeso (Mn)	195.897	1229.523	1789.492	0.109	0.687	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	0.674	<0.2	<0.2	-	-	HIPERACUMULADORA
Sodio (Na)	1091.874	1071.759	387.362	2.819	2.767	TOLERANTE E HIPERACUM

Níquel (Ni)	1.345	2.663	2.443	0.550	1.090	TOLERANTE
Fósforo (P)	1464.234	573.882	348.347	4.203	1.647	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	264.989	1546.086	1903.399	0.139	0.812	INDICADORA
Antimonio (Sb)	17.127	88.097	69.720	0.246	1.264	TOLERANTE
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	2.139	8.044	9.904	0.216	0.812	INDICADORA
Estroncio (Sr)	32.252	46.324	40.270	0.801	1.150	TOLERANTE
Titanio (Ti)	4.344	36.970	23.264	0.187	1.589	TOLERANTE
Talio(Tl)	<0.3	0.913	1.664	-	0.549	INDICADORA
Vanadio (V)	0.586	11.703	9.520	0.062	1.229	TOLERANTE
Zinc (Zn)	759.769	1817.974	2056.963	0.369	0.884	INDICADORA
TAnálisis003	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	23.693	37.079	22.177	1.068	1.672	TOLERANTE
Aluminio (Al)	608.484	361.612	1416.750	0.429	0.255	INDICADORA E HIPERACUM
Arsénico (As)	2756.910	2574.226	5152.856	0.535	0.500	INDICADORA E HIPERACUM
Boro (B)	11.899	8.895	0.784	15.185	11.352	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	14.758	7.032	28.980	0.509	0.243	INDICADORA E HIPERACUM
Berilio (Be)	<0.02	<0.02	<0.02	-	-	-
Calcio (Ca)	2461.245	1426.275	959.785	2.564	1.486	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	3.810	3.595	6.187	0.616	0.581	INDICADORA E HIPERACUM
Cerio (Ce)	7.497	4.377	11.662	0.643	0.375	INDICADORA E HIPERACUM
Cobalto (Co)	1.488	1.050	2.084	0.714	0.504	INDICADORA E HIPERACUM
Cromo (Cr)	4.115	2.063	1.127	3.651	1.831	TOLERANTE E HIPERACUM
Cobre (Cu)	92.680	58.097	146.422	0.633	0.397	INDICADORA E HIPERACUM
Hierro (Fe)	12347.226	9172.196	20000.000	0.617	0.459	INDICADORA E HIPERACUM
Mercurio (Hg)	0.348	0.237	0.759	0.459	0.313	INDICADORA E HIPERACUM
Potasio (K)	5437.765	7151.599	1152.226	4.719	6.207	TOLERANTE
Litio (Li)	6.134	4.105	3.954	1.551	1.038	TOLERANTE E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	361.215	287.143	395.943	0.912	0.725	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	123.955	76.015	90.999	1.362	0.835	INDICADORA E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	<0.2	-	-	-
Sodio (Na)	840.225	1472.170	148.884	5.643	9.888	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.207	<0.04	<0.04	-	-	HIPERACUMULADORA
Fósforo (P)	788.039	1484.234	237.836	3.313	6.241	TOLERANTE
Plomo (Pb)	598.337	437.313	2243.168	0.267	0.195	INDICADORA E HIPERACUM
Antimonio (Sb)	49.745	42.983	76.084	0.654	0.565	INDICADORA E HIPERACUM
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-

Estaño (Sn)	3.066	2.183	9.669	0.317	0.226	INDICADORA E HIPERACUM
Estroncio (Sr)	19.901	9.493	15.052	1.322	0.631	INDICADORA E HIPERACUM
Titanio (Ti)	9.244	6.017	16.966	0.545	0.355	INDICADORA E HIPERACUM
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	1.918	1.783	5.479	0.350	0.325	INDICADORA E HIPERACUM
Zinc (Zn)	340.952	280.486	462.774	0.737	0.606	INDICADORA E HIPERACUM
JAnalisis001	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	2.305	34.429	77.003	0.030	0.447	INDICADORA
Aluminio (Al)	79.015	3951.924	7350.180	0.011	0.538	INDICADORA
Arsénico (As)	41.059	1364.819	2364.394	0.017	0.577	INDICADORA
Boro (B)	13.493	1.173	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	5.405	44.411	113.116	0.048	0.393	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.231	0.346	-	0.669	INDICADORA
Calcio (Ca)	8007.320	18692.748	40000.000	0.200	0.467	INDICADORA
Cadmio (Cd)	1.775	82.085	173.060	0.010	0.474	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.686	19.956	30.094	0.023	0.663	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.086	6.986	12.018	0.007	0.581	INDICADORA
Cromo (Cr)	1.450	18.585	35.281	0.041	0.527	INDICADORA
Cobre (Cu)	22.584	522.387	1180.719	0.019	0.442	INDICADORA
Hierro (Fe)	497.590	20000.000	20000.000	0.025	1.000	-
Mercurio (Hg)	1.476	<0.06	<0.06	-	-	HIPERACUMULADORA
Potasio (K)	25615.204	3979.367	1722.133	14.874	2.311	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	1.385	6.845	11.126	0.124	0.615	INDICADORA
Magnesio (Mg)	812.805	3028.684	3545.981	0.229	0.854	INDICADORA
Manganeso (Mn)	177.654	1698.447	2000.000	0.089	0.849	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	1.313	2.844	5.215	0.252	0.545	INDICADORA
Sodio (Na)	1145.768	344.340	207.623	5.519	1.658	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	0.524	5.353	8.843	0.059	0.605	INDICADORA
Fósforo (P)	1204.070	796.643	774.774	1.554	1.028	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	119.047	5000.000	5000.000	0.024	1.000	-
Antimonio (Sb)	5.009	83.488	98.340	0.051	0.849	INDICADORA
Selenio(Se)	0.725	0.782	<0.3	-	-	TOLERANTE
Estaño (Sn)	0.600	5.558	9.519	0.063	0.584	INDICADORA
Estroncio (Sr)	18.009	37.141	69.115	0.261	0.537	INDICADORA
Titanio (Ti)	1.803	41.154	53.696	0.034	0.766	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	0.655	1.423	-	0.460	INDICADORA
Vanadio (V)	0.155	10.484	16.725	0.009	0.627	INDICADORA
Zinc (Zn)	280.010	5000.000	5000.000	0.056	1.000	-
JAnalisis002	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	1.045	47.176	75.837	0.014	0.622	INDICADORA
Aluminio (Al)	86.400	1790.441	5736.674	0.015	0.312	INDICADORA
Arsénico (As)	21.671	2228.046	6000.000	0.004	0.371	INDICADORA
Boro (B)	6.357	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA

Bario (Ba)	2.187	25.057	56.244	0.039	0.446	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.047	0.262	-	0.180	INDICADORA
Calcio (Ca)	2564.440	4439.808	20785.429	0.123	0.214	INDICADORA
Cadmio (Cd)	6.625	50.066	91.720	0.072	0.546	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.628	13.880	32.394	0.019	0.428	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.174	6.760	10.966	0.016	0.616	INDICADORA
Cromo (Cr)	1.410	11.793	8.663	0.163	1.361	TOLERANTE
Cobre (Cu)	14.046	200.509	426.987	0.033	0.470	INDICADORA
Hierro (Fe)	393.039	17912.422	20000.000	0.020	0.896	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	0.068	8.919	-	0.008	INDICADORA
Potasio (K)	8655.269	4372.579	1790.377	4.834	2.442	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	0.390	3.126	10.712	0.036	0.292	INDICADORA
Magnesio (Mg)	730.724	684.027	1846.812	0.396	0.370	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	210.584	1550.164	2000.000	0.105	0.775	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	1.336	1.794	4.261	0.314	0.421	INDICADORA
Sodio (Na)	102.272	223.533	423.470	0.242	0.528	INDICADORA
Níquel (Ni)	0.557	2.476	5.458	0.102	0.454	INDICADORA
Fósforo (P)	362.565	409.852	640.541	0.566	0.640	INDICADORA
Plomo (Pb)	168.884	3725.112	5000.000	0.034	0.745	INDICADORA
Antimonio (Sb)	2.647	113.133	142.824	0.019	0.792	INDICADORA
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.470	5.807	10.950	0.043	0.530	INDICADORA
Estroncio (Sr)	6.870	19.129	53.116	0.129	0.360	INDICADORA
Titanio (Ti)	1.090	29.736	46.604	0.023	0.638	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	0.826	1.590	-	0.520	INDICADORA
Vanadio (V)	0.093	4.436	13.457	0.007	0.330	INDICADORA
Zinc (Zn)	533.666	3291.958	5000.000	0.107	0.658	INDICADORA
JAnálisis003	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.736	3.178	12.821	0.057	0.248	INDICADORA
Aluminio (Al)	75.294	882.149	5410.300	0.014	0.163	INDICADORA
Arsénico (As)	12.295	303.769	1305.131	0.009	0.233	INDICADORA
Boro (B)	58.920	8.611	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	3.339	12.462	65.397	0.051	0.191	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	<0.02	0.296	-	-	INDICADORA
Calcio (Ca)	20595.658	28053.382	25314.843	0.814	1.108	TOLERANTE
Cadmio (Cd)	1.538	4.434	16.329	0.094	0.272	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.416	4.628	33.400	0.012	0.139	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.062	0.941	6.605	0.009	0.143	INDICADORA
Cromo (Cr)	0.397	4.265	6.770	0.059	0.630	INDICADORA
Cobre (Cu)	23.220	94.409	134.246	0.173	0.703	INDICADORA
Hierro (Fe)	254.442	5631.660	20000.000	0.013	0.282	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	12894.362	12423.333	933.280	13.816	13.311	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	9.517	2.776	12.267	0.776	0.226	INDICADORA E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	6136.855	2975.402	3135.136	1.957	0.949	INDICADORA E HIPERACUM

Manganeso (Mn)	206.857	174.434	1093.671	0.189	0.159	INDICADORA E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	1.268	1.696	-	0.747	INDICADORA
Sodio (Na)	120.096	464.390	79.446	1.512	5.845	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.696	0.540	3.424	0.203	0.158	INDICADORA E HIPERACUM
Fósforo (P)	1646.579	1484.448	992.694	1.659	1.495	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	13.335	452.973	2066.606	0.006	0.219	INDICADORA
Antimonio (Sb)	0.203	5.488	15.805	0.013	0.347	INDICADORA
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.540	1.063	3.068	0.176	0.347	INDICADORA
Estroncio (Sr)	63.774	79.132	50.799	1.255	1.558	TOLERANTE
Titanio (Ti)	1.000	8.174	14.851	0.067	0.550	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	0.573	-	-	INDICADORA
Vanadio (V)	0.081	2.099	16.133	0.005	0.130	INDICADORA
Zinc (Zn)	240.346	459.700	1394.577	0.172	0.330	INDICADORA
JAnálisis004	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	1.128	0.267	0.570	1.978	0.469	INDICADORA E HIPERACUM
Aluminio (Al)	1010.668	3810.657	10887.733	0.093	0.350	TOLERANTE
Arsénico (As)	102.147	52.296	144.718	0.706	0.361	INDICADORA E HIPERACUM
Boro (B)	65.028	10.646	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	33.451	44.906	96.927	0.345	0.463	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.024	0.345	-	0.069	INDICADORA
Calcio (Ca)	32982.245	9581.515	18188.756	1.813	0.527	INDICADORA E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	1.080	2.223	6.504	0.166	0.342	INDICADORA
Cerio (Ce)	3.251	12.733	41.455	0.078	0.307	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.516	2.698	7.713	0.067	0.350	INDICADORA
Cromo (Cr)	1.908	9.510	6.237	0.306	1.525	TOLERANTE
Cobre (Cu)	13.184	18.286	39.923	0.330	0.458	INDICADORA
Hierro (Fe)	1871.220	6155.675	20000.000	0.094	0.308	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	25002.201	4941.864	1958.975	12.763	2.523	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	17.075	10.459	20.419	0.836	0.512	INDICADORA E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	5635.211	4373.484	6366.956	0.885	0.687	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	131.929	287.074	817.562	0.161	0.351	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	6.384	11.351	0.561	11.373	20.221	TOLERANTE
Sodio (Na)	408.935	740.338	118.393	3.454	6.253	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.558	1.969	5.840	0.096	0.337	INDICADORA
Fósforo (P)	2583.303	782.489	952.015	2.714	0.822	INDICADORA E HIPERACUM
Plomo (Pb)	39.648	93.013	311.003	0.127	0.299	INDICADORA
Antimonio (Sb)	5.036	2.521	1.572	3.204	1.604	TOLERANTE E HIPERACUM
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.471	0.636	0.653	0.721	0.973	INDICADORA

Estroncio (Sr)	204.404	60.508	57.244	3.571	1.057	TOLERANTE E HIPERACUM
Titanio (Ti)	17.084	54.009	41.184	0.415	1.311	TOLERANTE
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	2.007	8.756	25.419	0.079	0.344	INDICADORA
Zinc (Zn)	92.358	149.523	482.987	0.191	0.310	INDICADORA
JAnálisis005	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	4.654	<0.05	0.732	6.359	-	INDICADORA E HIPERACUM
Aluminio (Al)	547.214	3294.189	6213.057	0.088	0.530	INDICADORA
Arsénico (As)	3108.674	349.761	2502.431	1.242	0.140	INDICADORA E HIPERACUM
Boro (B)	3.386	1.287	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	7.341	35.042	65.265	0.112	0.537	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.238	0.409	-	0.583	INDICADORA
Calcio (Ca)	6994.958	7235.832	13591.125	0.515	0.532	INDICADORA
Cadmio (Cd)	5.075	9.560	16.580	0.306	0.577	INDICADORA
Cerio (Ce)	6.325	21.664	38.654	0.164	0.560	INDICADORA
Cobalto (Co)	1.743	3.947	8.788	0.198	0.449	INDICADORA
Cromo (Cr)	8.548	23.272	3.949	2.164	5.893	TOLERANTE
Cobre (Cu)	36.754	26.847	64.041	0.574	0.419	INDICADORA E HIPERACUM
Hierro (Fe)	10647.916	13783.194	20000.000	0.532	0.689	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	21596.074	3486.513	849.380	25.426	4.105	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	2.232	6.850	13.678	0.163	0.501	INDICADORA
Magnesio (Mg)	2418.321	2542.314	3936.749	0.614	0.646	INDICADORA
Manganeso (Mn)	845.270	739.749	1930.185	0.438	0.383	INDICADORA E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	0.689	0.979	0.897	0.768	1.091	INDICADORA E HIPERACUM
Sodio (Na)	95.779	121.075	58.048	1.650	2.086	TOLERANTE
Níquel (Ni)	2.051	3.413	7.584	0.270	0.450	INDICADORA
Fósforo (P)	1566.217	960.972	1082.847	1.446	0.887	INDICADORA E HIPERACUM
Plomo (Pb)	558.880	240.698	843.647	0.662	0.285	INDICADORA E HIPERACUM
Antimonio (Sb)	150.992	19.597	84.588	1.785	0.232	INDICADORA E HIPERACUM
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.694	0.727	0.934	0.743	0.779	INDICADORA
Estroncio (Sr)	21.890	22.958	36.922	0.593	0.622	INDICADORA
Titanio (Ti)	4.536	12.822	9.701	0.468	1.322	TOLERANTE
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	1.206	-	-	INDICADORA
Vanadio (V)	1.976	9.046	16.712	0.118	0.541	INDICADORA
Zinc (Zn)	664.440	486.908	1544.568	0.430	0.315	INDICADORA E HIPERACUM
MAnálisis001	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	1.625	3.385	7.579	0.214	0.447	INDICADOR
Aluminio (Al)	4622.911	3253.165	6885.977	0.671	0.472	INDICADOR E HIPERACUM

Arsénico (As)	495.187	363.256	954.722	0.519	0.380	INDICADOR E HIPERACUM
Boro (B)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Bario (Ba)	31.685	28.290	58.664	0.540	0.482	INDICADOR E HIPERACUM
Berilio (Be)	<0.02	<0.02	<0.02	-	-	-
Calcio (Ca)	3283.223	4577.586	1232.089	2.665	3.715	TOLERANTE
Cadmio (Cd)	4.294	7.282	4.845	0.886	1.503	TOLERANTE
Cerio (Ce)	9.183	6.870	10.946	0.839	0.628	INDICADOR E HIPERACUM
Cobalto (Co)	3.063	3.340	2.998	1.022	1.114	TOLERANTE
Cromo (Cr)	13.975	21.392	5.908	2.365	3.621	TOLERANTE
Cobre (Cu)	80.719	77.490	75.036	1.076	1.033	TOLERANTE E HIPERACUM
Hierro (Fe)	13220.332	8202.904	20000.000	0.661	0.410	INDICADOR E HIPERACUM
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	6664.973	12620.529	1134.227	5.876	11.127	TOLERANTE
Litio (Li)	10.933	6.061	16.582	0.659	0.366	INDICADOR E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	2135.410	1925.617	1577.251	1.354	1.221	TOLERANTE E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	329.323	461.062	182.007	1.809	2.533	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	<0.2	-	-	-
Sodio (Na)	98.111	126.450	57.669	1.701	2.193	TOLERANTE
Níquel (Ni)	1.785	2.052	1.557	1.146	1.317	TOLERANTE
Fósforo (P)	619.323	1004.893	208.646	2.968	4.816	TOLERANTE
Plomo (Pb)	405.040	397.073	969.630	0.418	0.410	INDICADOR E HIPERACUM
Antimonio (Sb)	10.790	8.843	14.853	0.726	0.595	INDICADOR E HIPERACUM
Selenio (Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	1.948	1.704	3.339	0.584	0.511	INDICADOR E HIPERACUM
Estroncio (Sr)	16.421	25.691	16.408	1.001	1.566	TOLERANTE
Titanio (Ti)	302.337	123.150	299.964	1.008	0.411	INDICADOR E HIPERACUM
Talio (Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	13.969	7.776	18.748	0.745	0.415	INDICADOR E HIPERACUM
Zinc (Zn)	582.804	1242.840	469.701	1.241	2.646	TOLERANTE
MAnálisis002	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	1.025	7.709	37.786	0.027	0.204	INDICADOR
Aluminio (Al)	247.109	2559.975	13108.605	0.019	0.195	INDICADOR
Arsénico (As)	167.914	1629.917	6000.000	0.028	0.272	INDICADOR
Boro (B)	14.433	1.904	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	1.249	11.725	53.657	0.023	0.219	INDICADOR
Berilio (Be)	<0.02	0.163	0.683	-	0.239	INDICADOR
Calcio (Ca)	2932.954	5256.079	30137.595	0.097	0.174	INDICADOR E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	3.261	17.201	80.234	0.041	0.214	INDICADOR
Cerio (Ce)	0.899	8.442	34.011	0.026	0.248	INDICADOR
Cobalto (Co)	0.364	4.752	29.337	0.012	0.162	INDICADOR

Cromo (Cr)	3.724	37.882	184.294	0.020	0.206	INDICADOR
Cobre (Cu)	36.632	323.976	998.638	0.037	0.324	INDICADOR
Hierro (Fe)	1539.760	14430.711	20000.000	0.077	0.722	INDICADOR
Mercurio (Hg)	2.652	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	12802.599	11329.166	1541.525	8.305	7.349	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	1.317	3.166	17.379	0.076	0.182	INDICADOR
Magnesio (Mg)	1391.916	3026.818	8293.009	0.168	0.365	INDICADOR
Manganeso (Mn)	260.004	1501.841	2000.000	0.130	0.751	INDICADOR
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.644	5.200	-	0.124	INDICADOR
Sodio (Na)	220.357	615.423	96.136	2.292	6.402	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.435	3.319	15.213	0.029	0.218	INDICADOR
Fósforo (P)	1484.451	539.611	551.911	2.690	0.978	INDICADOR E HIPERACUM
Plomo (Pb)	195.177	2324.858	5000.000	0.039	0.465	INDICADOR
Antimonio (Sb)	3.937	42.954	95.382	0.041	0.450	INDICADOR
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.618	1.669	4.841	0.128	0.345	INDICADOR
Estroncio (Sr)	13.789	21.043	85.120	0.162	0.247	INDICADOR
Titanio (Ti)	2.469	19.954	40.377	0.061	0.494	INDICADOR
Talio(Tl)	<0.3	0.492	5.702	-	0.086	INDICADOR
Vanadio (V)	0.212	3.360	15.435	0.014	0.218	INDICADOR
Zinc (Zn)	462.146	3361.144	5000.000	0.092	0.672	INDICADOR
MAnalisis003	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.702	7.749	31.201	0.022	0.248	INDICADOR
Aluminio (Al)	212.973	2394.898	9832.233	0.022	0.244	INDICADOR
Arsénico (As)	83.566	1944.566	6000.000	0.014	0.324	INDICADOR
Boro (B)	29.021	2.682	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	5.280	19.291	59.758	0.088	0.323	INDICADOR
Berilio (Be)	<0.02	0.041	0.438	-	0.093	INDICADOR
Calcio (Ca)	8781.520	8781.176	40000.000	0.220	0.220	INDICADOR E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	6.546	17.758	77.976	0.084	0.228	INDICADOR
Cerio (Ce)	1.413	9.017	34.860	0.041	0.259	INDICADOR
Cobalto (Co)	1.182	7.175	32.276	0.037	0.222	INDICADOR
Cromo (Cr)	1.926	90.992	446.234	0.004	0.204	INDICADOR
Cobre (Cu)	58.468	292.840	1106.479	0.053	0.265	INDICADOR
Hierro (Fe)	1098.840	16060.658	20000.000	0.055	0.803	INDICADOR
Mercurio (Hg)	<0.06	0.417	<0.06	-	-	TOLERANTE
Potasio (K)	15285.204	11094.919	1458.483	10.480	7.607	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	3.229	4.479	14.840	0.218	0.302	INDICADOR
Magnesio (Mg)	3683.500	3619.143	6429.408	0.573	0.563	INDICADOR E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	757.574	1980.612	2000.000	0.379	0.990	INDICADOR
Molibdeno (Mo)	0.339	1.518	6.360	0.053	0.239	INDICADOR
Sodio (Na)	412.748	2383.218	154.544	2.671	15.421	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.758	3.425	17.641	0.043	0.194	INDICADOR
Fósforo (P)	1658.420	1266.919	512.519	3.236	2.472	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	112.927	1948.721	5000.000	0.023	0.390	INDICADOR
Antimonio (Sb)	1.725	45.003	112.206	0.015	0.401	INDICADOR
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-

Estaño (Sn)	0.617	2.257	6.274	0.098	0.360	INDICADOR
Estroncio (Sr)	78.142	34.472	119.564	0.654	0.288	INDICADOR E HIPERACUM
Titanio (Ti)	1.228	22.714	59.583	0.021	0.381	INDICADOR
Talio(Tl)	<0.3	1.354	7.290	-	0.186	INDICADOR
Vanadio (V)	<0.02	3.536	11.681	-	0.303	INDICADOR
Zinc (Zn)	965.100	3991.525	5000.000	0.193	0.798	INDICADOR
MAnálisis004	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.354	4.475	12.555	0.028	0.356	INDICADOR
Aluminio (Al)	66.478	1596.912	7857.972	0.008	0.203	INDICADOR
Arsénico (As)	74.807	548.763	1953.722	0.038	0.281	INDICADOR
Boro (B)	10.465	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADOR
Bario (Ba)	3.280	18.044	73.876	0.044	0.244	INDICADOR
Berilio (Be)	<0.02	0.094	0.299	-	0.314	INDICADOR
Calcio (Ca)	6219.708	4702.453	13293.002	0.468	0.354	INDICADOR E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	0.268	12.297	25.125	0.011	0.489	INDICADOR
Cerio (Ce)	0.898	9.562	30.241	0.030	0.316	INDICADOR
Cobalto (Co)	0.340	1.744	3.033	0.112	0.575	INDICADOR
Cromo (Cr)	0.505	4.479	8.738	0.058	0.513	INDICADOR
Cobre (Cu)	16.926	692.610	1941.024	0.009	0.357	INDICADOR
Hierro (Fe)	628.892	18796.211	20000.000	0.031	0.940	INDICADOR
Mercurio (Hg)	1.416	<0.06	<0.06	-	-	HIPERACUMULADOR
Potasio (K)	23083.437	5638.217	741.053	31.150	7.608	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	0.887	1.551	7.580	0.117	0.205	INDICADOR
Magnesio (Mg)	2645.858	1297.966	1520.340	1.740	0.854	INDICADOR E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	1049.074	887.320	1445.010	0.726	0.614	INDICADOR E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	0.338	0.973	3.847	0.088	0.253	INDICADOR
Sodio (Na)	201.429	1291.053	187.439	1.075	6.888	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.316	1.735	5.296	0.060	0.328	INDICADOR
Fósforo (P)	1673.089	1662.266	963.722	1.736	1.725	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	28.182	1386.186	4650.036	0.006	0.298	INDICADOR
Antimonio (Sb)	0.284	34.557	120.900	0.002	0.286	INDICADOR
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.526	3.597	10.932	0.048	0.329	INDICADOR
Estroncio (Sr)	30.651	25.390	68.449	0.448	0.371	INDICADOR E HIPERACUM
Titanio (Ti)	0.628	24.040	90.968	0.007	0.264	INDICADOR
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	0.498	-	-	INDICADOR
Vanadio (V)	<0.02	3.430	14.166	-	0.242	INDICADOR
Zinc (Zn)	261.154	821.400	1600.897	0.163	0.513	INDICADOR
MAnálisis005	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.476	7.145	11.735	0.041	0.609	INDICADOR
Aluminio (Al)	151.000	2046.386	5056.745	0.030	0.405	INDICADOR
Arsénico (As)	63.718	920.896	1962.301	0.032	0.469	INDICADOR
Boro (B)	16.041	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	4.556	25.321	72.324	0.063	0.350	INDICADOR
Berilio (Be)	<0.02	0.031	<0.02	-	-	TOLERANTE
Calcio (Ca)	6141.994	5026.153	14358.330	0.428	0.350	INDICADOR E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	7.113	13.216	16.779	0.424	0.788	INDICADOR

Cerio (Ce)	0.850	9.594	18.983	0.045	0.505	INDICADOR
Cobalto (Co)	0.268	2.029	1.868	0.144	1.086	TOLERANTE
Cromo (Cr)	1.144	13.821	13.987	0.082	0.988	INDICADOR
Cobre (Cu)	31.903	543.739	921.623	0.035	0.590	INDICADOR
Hierro (Fe)	911.206	18838.275	20000.000	0.046	0.942	INDICADOR
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	0.413	-	-	INDICADOR
Potasio (K)	11965.308	3690.684	514.201	23.270	7.178	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	1.103	2.722	7.221	0.153	0.377	INDICADOR
Magnesio (Mg)	369.511	451.302	409.474	0.902	1.102	TOLERANTE
Manganeso (Mn)	458.678	566.608	450.812	1.017	1.257	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.956	2.740	-	0.349	INDICADOR
Sodio (Na)	2211.234	1749.173	133.409	16.575	13.111	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	0.705	1.324	1.453	0.485	0.911	INDICADOR
Fósforo (P)	1480.279	872.208	828.076	1.788	1.053	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	137.265	1535.540	2815.158	0.049	0.545	INDICADOR
Antimonio (Sb)	1.978	40.596	63.168	0.031	0.643	INDICADOR
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.740	5.037	8.247	0.090	0.611	INDICADOR
Estroncio (Sr)	26.313	30.936	68.013	0.387	0.455	INDICADOR
Titanio (Ti)	1.682	42.582	106.799	0.016	0.399	INDICADOR
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	0.131	4.024	13.828	0.009	0.291	INDICADOR
Zinc (Zn)	549.671	1176.272	1393.192	0.395	0.844	INDICADOR
PAnálisis001	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.131	<0.05	<0.05	-	-	HIPERACUMULADORA
Aluminio (Al)	742.325	525.638	8282.774	0.090	0.063	INDICADOR E HIPERACUM
Arsénico (As)	0.816	8.315	290.788	0.003	0.029	INDICADOR
Boro (B)	2.551	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	8.930	2.859	15.531	0.575	0.184	INDICADOR E HIPERACUM
Berilio (Be)	0.085	<0.02	0.582	0.147	-	INDICADOR
Calcio (Ca)	1153.484	436.210	324.274	3.557	1.345	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	0.052	1.118	28.696	0.002	0.039	INDICADOR
Cerio (Ce)	0.587	3.015	47.911	0.012	0.063	INDICADOR
Cobalto (Co)	2.147	5.327	3.448	0.623	1.545	TOLERANTE
Cromo (Cr)	0.159	0.591	10.470	0.015	0.056	INDICADOR
Cobre (Cu)	14.004	15.216	22.645	0.618	0.672	INDICADOR
Hierro (Fe)	1011.356	10713.135	20000.000	0.051	0.536	INDICADOR
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	5625.376	4466.770	370.564	15.181	12.054	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	<0.3	<0.3	5.826	-	-	INDICADOR
Magnesio (Mg)	502.283	222.946	964.794	0.521	0.231	INDICADOR E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	195.458	103.337	159.034	1.229	0.650	INDICADOR E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	0.000	<0.2	<0.2	-	-	-
Sodio (Na)	103.939	45.505	9.231	11.260	4.930	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	6.851	4.864	6.440	1.064	0.755	INDICADOR E HIPERACUM

Fósforo (P)	1154.080	933.948	638.743	1.807	1.462	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	2.484	7.581	21.595	0.115	0.351	INDICADOR
Antimonio (Sb)	<0.2	0.323	4.476	-	-	INDICADOR
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.583	0.577	1.829	0.319	0.316	INDICADOR
Estroncio (Sr)	7.569	2.186	4.695	1.612	0.465	INDICADOR E HIPERACUM
Titanio (Ti)	1.605	0.393	5.942	0.270	0.066	INDICADOR E HIPERACUM
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	0.326	-	-	-
Vanadio (V)	0.174	0.233	8.346	0.021	0.028	INDICADOR
Zinc (Zn)	33.998	21.740	70.901	0.480	0.307	INDICADOR E HIPERACUM
PAnálisis002	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.219	0.380	<0.05	-	-	TOLERANTE
Aluminio (Al)	37.883	478.752	7026.248	0.005	0.068	INDICADOR
Arsénico (As)	<0.1	11.766	83.517	-	0.141	INDICADOR
Boro (B)	12.874	10.876	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	2.876	6.867	6.318	0.455	1.087	TOLERANTE
Berilio (Be)	<0.02	0.027	0.281	-	0.095	INDICADOR
Calcio (Ca)	2883.850	1742.125	62.470	46.164	27.887	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	1.025	1.015	2.185	0.469	0.465	INDICADOR
Cerio (Ce)	0.341	0.901	7.769	0.044	0.116	INDICADOR
Cobalto (Co)	7.635	8.218	2.499	3.055	3.289	TOLERANTE
Cromo (Cr)	<0.04	1.314	8.839	-	0.149	INDICADOR
Cobre (Cu)	11.023	17.002	6.159	1.790	2.761	TOLERANTE
Hierro (Fe)	91.735	1003.813	18162.435	0.005	0.055	INDICADOR
Mercurio (Hg)	0.374	<0.06	<0.06	-	-	HIPERACUMULADORA
Potasio (K)	7795.381	28014.105	421.397	18.499	66.479	TOLERANTE
Litio (Li)	<0.3	4.850	11.638	-	-	INDICADOR
Magnesio (Mg)	2185.411	1454.121	2285.565	0.956	0.636	INDICADOR E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	494.921	241.712	167.556	2.954	1.443	TOLERANTE E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	0.433	-	-	INDICADOR
Sodio (Na)	62.409	195.122	14.542	4.292	13.418	TOLERANTE
Níquel (Ni)	25.475	15.979	6.704	3.800	2.384	TOLERANTE E HIPERACUM
Fósforo (P)	879.608	1618.391	281.012	3.130	5.759	TOLERANTE
Plomo (Pb)	1.869	17.885	8.734	0.214	2.048	TOLERANTE
Antimonio (Sb)	<0.2	0.276	1.877	-	0.147	INDICADOR
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.595	0.540	<0.1	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Estroncio (Sr)	12.806	22.694	4.352	2.942	5.214	TOLERANTE
Titanio (Ti)	0.286	1.687	2.891	0.099	0.584	INDICADOR
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	<0.02	0.472	10.630	-	0.044	INDICADOR
Zinc (Zn)	21.602	42.683	8.637	2.501	4.942	TOLERANTE
PAnálisis003	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.095	<0.05	<0.05	-	-	HIPERACUMULADORA
Aluminio (Al)	673.870	2309.146	5063.624	0.133	0.456	INDICADOR

Arsénico (As)	7.620	36.399	130.974	0.058	0.278	INDICADOR
Boro (B)	2.990	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	8.475	5.830	7.468	1.135	0.781	INDICADOR E HIPERACUM
Berilio (Be)	0.150	0.313	0.334	0.451	0.937	INDICADOR
Calcio (Ca)	1450.852	865.120	147.376	9.845	5.870	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	0.139	1.532	3.185	0.044	0.481	INDICADOR
Cerio (Ce)	1.144	4.691	9.342	0.122	0.502	INDICADOR
Cobalto (Co)	4.356	17.905	5.007	0.870	3.576	TOLERANTE
Cromo (Cr)	1.090	4.361	6.062	0.180	0.719	INDICADOR
Cobre (Cu)	15.076	26.148	5.920	2.547	4.417	TOLERANTE
Hierro (Fe)	1804.165	11064.582	20000.000	0.090	0.553	INDICADOR
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	9514.899	6027.992	303.895	31.310	19.836	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	0.438	1.875	6.661	0.066	0.282	INDICADOR
Magnesio (Mg)	1549.666	518.307	1403.152	1.104	0.369	INDICADOR E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	603.411	311.528	177.338	3.403	1.757	TOLERANTE E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	0.365	-	-	INDICADOR
Sodio (Na)	90.069	114.420	8.837	10.192	12.947	TOLERANTE
Níquel (Ni)	16.354	15.862	6.317	2.589	2.511	TOLERANTE E HIPERACUM
Fósforo (P)	2060.197	1052.709	328.670	6.268	3.203	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	3.157	12.411	12.327	0.256	1.007	TOLERANTE
Antimonio (Sb)	<0.2	1.363	2.451	-	0.556	INDICADORA
Selenio (Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.505	0.613	0.199	2.541	3.082	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	10.226	5.904	5.889	1.737	1.003	HIPERACUMULADORA
Titanio (Ti)	1.230	2.810	3.655	0.337	0.769	INDICADORA
Talio (Tl)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	0.669	3.634	10.106	0.066	0.360	INDICADORA
Zinc (Zn)	40.218	34.709	12.059	3.335	2.878	TOLERANTE E HIPERACUM
PAnálisis004	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.297	<0.05	<0.05	-	-	HIPERACUMUALADOR
Aluminio (Al)	69.372	275.439	7512.992	0.009	0.037	INDICADORA
Arsénico (As)	5.186	4.442	106.027	0.049	0.042	INDICADORA
Boro (B)	16.762	7.534	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	3.599	5.581	6.549	0.550	0.852	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	<0.02	0.402	-	-	INDICADORA
Calcio (Ca)	5507.354	1205.079	67.694	81.356	17.802	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	1.466	0.806	2.892	0.507	0.279	INDICADORA E HIPERACUM
Cerio (Ce)	1.870	0.403	9.572	0.195	0.042	INDICADORA E HIPERACUM
Cobalto (Co)	2.280	5.640	5.328	0.428	1.059	TOLERANTE
Cromo (Cr)	0.186	2.541	9.150	0.020	0.278	INDICADORA
Cobre (Cu)	9.721	12.026	8.240	1.180	1.459	TOLERANTE
Hierro (Fe)	251.664	767.302	20000.000	0.013	0.038	INDICADORA

Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	17919.843	17587.504	394.513	45.423	44.580	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	<0.3	0.400	11.006	-	0.036	INDICADORA
Magnesio (Mg)	3217.403	579.901	2121.663	1.516	0.273	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	2000.000	274.339	206.357	9.692	1.329	TOLERANTE E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	0.547	-	-	INDICADORA
Sodio (Na)	82.579	78.361	11.613	7.111	6.748	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	5.846	9.052	9.211	0.635	0.983	INDICADORA
Fósforo (P)	2569.279	1793.075	363.196	7.074	4.937	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	5.288	1.541	14.417	0.367	0.107	INDICADORA E HIPERACUM
Antimonio (Sb)	<0.2	<0.2	1.407	-	-	INDICADORA
Selenio(Se)	0.551	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMUALADOR
Estaño (Sn)	0.534	0.462	0.199	2.686	2.325	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	17.690	15.015	5.106	3.465	2.941	TOLERANTE E HIPERACUM
Titanio (Ti)	0.800	0.415	3.132	0.255	0.132	INDICADORA E HIPERACUM
Talio(Tl)	1.526	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMUALADOR
Vanadio (V)	<0.02	0.327	14.743	-	0.022	INDICADORA
Zinc (Zn)	22.298	25.679	17.153	1.300	1.497	TOLERANTE
PAnálisis005	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-
Aluminio (Al)	1035.824	4268.367	8647.904	8957705.151	0.494	INDICADORA
Arsénico (As)	42.073	<0.1	93.002	3912.880	-	INDICADORA E HIPERACUM
Boro (B)	4.431	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMUALADOR
Bario (Ba)	7.521	9.387	6.134	46.133	1.530	TOLERANTE
Berilio (Be)	0.272	1.457	0.963	0.262	1.513	TOLERANTE
Calcio (Ca)	2724.870	1403.218	127.159	346490.844	11.035	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	1.522	10.296	12.024	18.295	0.856	INDICADORA
Cerio (Ce)	3.422	24.621	23.018	78.767	1.070	TOLERANTE
Cobalto (Co)	0.826	0.375	2.123	1.754	0.177	INDICADORA E HIPERACUM
Cromo (Cr)	0.383	<0.04	4.179	1.600	-	INDICADORA E HIPERACUM
Cobre (Cu)	9.475	4.798	7.452	70.611	0.644	INDICADORA E HIPERACUM
Hierro (Fe)	7862.127	20000.000	20000.000	157242531.525	1.000	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	18402.884	4462.888	504.232	9279314.466	8.851	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	0.385	0.315	5.678	2.185	0.055	INDICADORA
Magnesio (Mg)	2584.331	718.409	960.335	2481824.476	0.748	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	2000.000	796.910	238.514	477027.944	3.341	TOLERANTE E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	<0.2	-	-	-

Sodio (Na)	96.301	584.349	50.034	4818.296	11.679	TOLERANTE
Níquel (Ni)	4.890	1.714	1.982	9.692	0.865	INDICADORA E HIPERACUM
Fósforo (P)	1840.686	1269.849	297.240	547124.562	4.272	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	39.696	10.047	11.825	469.422	0.850	INDICADORA E HIPERACUM
Antimonio (Sb)	1.476	0.638	2.368	3.495	0.269	INDICADORA E HIPERACUM
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.609	1.195	0.865	0.527	1.381	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	14.584	11.024	5.039	73.487	2.188	TOLERANTE E HIPERACUM
Titanio (Ti)	1.269	0.333	5.728	7.268	0.058	INDICADORA E HIPERACUM
Talio(Tl)	0.936	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMUALADOR
Vanadio (V)	<0.02	0.784	7.662	-	0.102	INDICADORA
Zinc (Zn)	132.802	67.772	32.494	4315.258	2.086	TOLERANTE E HIPERACUM
PAnálisis006	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.251	<0.05	<0.05	-	-	HIPERACUMUALADOR
Aluminio (Al)	76.232	1245.537	2698.500	0.028	0.462	INDICADORA
Arsénico (As)	0.445	7.858	17.462	0.025	0.450	INDICADORA
Boro (B)	11.417	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMUALADOR
Bario (Ba)	2.349	14.370	14.473	0.162	0.993	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.092	0.110	-	0.836	INDICADORA
Calcio (Ca)	1689.740	1468.252	162.263	10.414	9.049	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	<0.04	2.213	4.115	-	0.538	INDICADORA
Cerio (Ce)	<0.2	8.828	11.136	-	0.793	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.060	16.995	25.642	0.002	0.663	INDICADORA
Cromo (Cr)	<0.04	4.799	2.096	-	2.290	TOLERANTE
Cobre (Cu)	7.256	10.733	3.969	1.828	2.704	TOLERANTE
Hierro (Fe)	554.219	20000.000	20000.000	0.028	1.000	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	7637.274	5043.361	157.180	48.589	32.087	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	2.138	0.322	2.726	0.784	0.118	INDICADORA E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	1791.161	629.191	391.786	4.572	1.606	TOLERANTE E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	106.782	2000.000	2000.000	0.053	1.000	-
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	<0.2	-	-	-
Sodio (Na)	110.384	84.292	4.132	26.714	20.400	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	0.165	7.754	5.953	0.028	1.303	TOLERANTE
Fósforo (P)	566.941	339.560	174.654	3.246	1.944	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	1.473	14.032	12.950	0.114	1.084	TOLERANTE
Antimonio (Sb)	<0.2	0.371	0.606	-	0.612	INDICADORA
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.484	0.455	0.275	1.759	1.653	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	4.695	15.851	3.059	1.535	5.182	TOLERANTE
Titanio (Ti)	0.996	4.755	4.754	0.210	1.000	TOLERANTE

Talio(Tl)	<0.3	4.169	4.361	-	0.956	INDICADORA
Vanadio (V)	0.061	0.493	3.496	0.017	0.141	INDICADORA
Zinc (Zn)	26.353	35.251	20.522	1.284	1.718	TOLERANTE
PAnálisis007	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.144	0.151	<0.05	-	-	TOLERANTE
Aluminio (Al)	44.107	607.122	3116.743	0.014	0.195	INDICADORA
Arsénico (As)	<0.1	0.951	27.039	-	0.035	INDICADORA
Boro (B)	30.248	4.266	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	2.459	4.493	4.150	0.593	1.083	TOLERANTE
Berilio (Be)	<0.02	0.040	0.085	-	0.471	INDICADORA
Calcio (Ca)	3724.015	1136.121	61.288	60.763	18.538	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	0.154	0.151	1.113	0.138	0.136	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.908	0.457	3.404	0.267	0.134	INDICADORA E HIPERACUM
Cobalto (Co)	0.322	1.729	1.888	0.170	0.916	INDICADORA
Cromo (Cr)	<0.04	0.994	3.138	-	0.317	INDICADORA
Cobre (Cu)	11.631	9.262	4.335	2.683	2.137	TOLERANTE E HIPERACUM
Hierro (Fe)	69.456	510.593	9426.801	0.007	0.054	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	7956.698	7325.273	254.474	31.267	28.786	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	<0.3	<0.3	3.902	-	-	INDICADORA
Magnesio (Mg)	1646.516	513.759	461.165	3.570	1.114	TOLERANTE E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	1819.535	151.507	87.673	20.754	1.728	TOLERANTE E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	<0.2	-	-	-
Sodio (Na)	44.165	68.046	5.812	7.599	11.707	TOLERANTE
Níquel (Ni)	3.701	1.582	2.954	1.253	0.535	INDICADORA E HIPERACUM
Fósforo (P)	696.926	223.437	149.639	4.657	1.493	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	0.402	2.579	12.750	0.032	0.202	INDICADORA
Antimonio (Sb)	<0.2	<0.2	0.690	-	-	INDICADORA
Selenio(Se)	<0.3	<0.3	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.577	0.542	<0.1	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Estroncio (Sr)	12.510	8.513	2.753	4.544	3.092	TOLERANTE E HIPERACUM
Titanio (Ti)	0.195	0.652	3.978	0.049	0.164	INDICADORA
Talio(Tl)	0.800	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMUALADOR
Vanadio (V)	<0.02	0.181	5.274	-	0.034	INDICADORA
Zinc (Zn)	51.817	14.599	10.860	4.771	1.344	TOLERANTE E HIPERACUM

ANEXO 2. Cálculo del factor de bioconcentración (FBC) en plantas colectadas en las zonas de muestreo en época seca.

HAnálisis002R	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.459	20.790	16.379	0.028	1.269	TOLERANTE
Aluminio (Al)	31.885	2865.099	2374.437	0.013	1.207	TOLERANTE
Arsénico (As)	47.044	4236.501	>6000	-	-	INDICADORA
Boro (B)	7.625	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	3.264	67.009	31.996	0.102	2.094	TOLERANTE
Berilio (Be)	<0.02	<0.02	0.096	-	-	-
Calcio (Ca)	5676.943	6039.576	2519.323	2.253	2.397	TOLERANTE
Cadmio (Cd)	0.601	67.652	37.132	0.016	1.822	TOLERANTE
Cerio (Ce)	1.336	33.556	28.282	0.047	1.186	TOLERANTE
Cobalto (Co)	0.169	19.178	8.454	0.020	2.269	TOLERANTE
Cromo (Cr)	1.327	29.711	4.065	0.326	7.309	TOLERANTE
Cobre (Cu)	7.919	240.695	215.634	0.037	1.116	TOLERANTE
Hierro (Fe)	684.836	>20000	>20000	-	-	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	32809.192	9151.664	663.837	49.424	13.786	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	<0.3	9.729	10.467	-	0.929	INDICADORA
Magnesio (Mg)	738.239	3194.040	3046.842	0.242	1.048	TOLERANTE
Manganeso (Mn)	551.548	>2000	1389.629	0.397	-	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)	0.744	4.905	0.733	1.015	6.689	TOLERANTE
Sodio (Na)	186.392	1024.014	48.766	3.822	20.999	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.187	2.123	1.012	0.184	2.099	TOLERANTE
Fósforo (P)	2198.946	1735.070	738.429	2.978	2.350	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	46.354	3001.634	2290.204	0.020	1.311	TOLERANTE
Antimonio (Sb)	1.826	71.230	37.529	0.049	1.898	TOLERANTE
Selenio(Se)	1.770	1.568	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.224	0.513	0.681	0.329	0.753	INDICADORA
Estroncio (Sr)	23.676	54.268	22.883	1.035	2.372	TOLERANTE
Titanio (Ti)	3.456	224.338	155.801	0.022	1.440	TOLERANTE
Talio(Tl)	0.438	6.170	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	0.137	13.711	16.049	0.009	0.854	INDICADORA
Zinc (Zn)	130.901	3878.991	4215.317	0.031	0.920	INDICADORA
HAnálisis003R	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	5.357	0.550	3.429	1.562	0.160	INDICADORA E HIPERACUM
Aluminio (Al)	271.142	446.844	3645.832	0.074	0.123	INDICADORA
Arsénico (As)	2692.646	550.044	2755.642	0.977	0.200	INDICADORA E HIPERACUM
Boro (B)	24.142	3.673	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	7.792	10.056	51.475	0.151	0.195	INDICADORA
Berilio (Be)	0.022	<0.02	0.111	0.198	-	-
Calcio (Ca)	10853.003	1827.170	1620.001	6.699	1.128	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	11.728	2.639	9.939	1.180	0.265	INDICADORA E HIPERACUM
Cerio (Ce)	5.067	4.681	28.685	0.177	0.163	INDICADORA E HIPERACUM

Cobalto (Co)	3.003	1.139	5.459	0.550	0.209	INDICADORA E HIPERACUM
Cromo (Cr)	7.140	5.431	5.478	1.303	0.991	INDICADORA E HIPERACUM
Cobre (Cu)	44.294	20.733	92.606	0.478	0.224	INDICADORA E HIPERACUM
Hierro (Fe)	9631.070	5127.739	>20000	-	-	INDICADORA E HIPERACUM
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	28519.303	8286.671	791.801	36.018	10.466	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	1.135	1.285	14.707	0.077	0.087	INDICADORA
Magnesio (Mg)	2419.829	939.383	3710.559	0.652	0.253	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	947.107	281.141	718.308	1.319	0.391	INDICADORA E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	0.780	0.339	0.465	1.676	0.729	INDICADORA E HIPERACUM
Sodio (Na)	268.390	238.595	47.777	5.618	4.994	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	0.773	0.157	1.225	0.631	0.128	INDICADORA E HIPERACUM
Fósforo (P)	3420.450	1579.661	896.436	3.816	1.762	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	657.622	112.482	759.007	0.866	0.148	INDICADORA E HIPERACUM
Antimonio (Sb)	35.811	6.015	6.853	5.225	0.878	INDICADORA E HIPERACUM
Selenio(Se)	0.868	0.664	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.438	0.460	0.540	0.811	0.852	-
Estroncio (Sr)	59.023	19.605	16.525	3.572	1.186	TOLERANTE E HIPERACUM
Titanio (Ti)	19.340	44.495	128.675	0.150	0.346	INDICADORA
Talio(Tl)	0.546	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Vanadio (V)	1.975	3.099	20.374	0.097	0.152	INDICADORA
Zinc (Zn)	1318.306	194.030	763.275	1.727	0.254	INDICADORA E HIPERACUM
HAnálisis004R	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.563	1.610	10.473	0.054	0.154	INDICADORA
Aluminio (Al)	46.455	528.067	6961.705	0.007	0.076	INDICADORA
Arsénico (As)	73.914	371.356	3627.502	0.020	0.102	INDICADORA
Boro (B)	14.753	0.985	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	3.308	9.699	44.561	0.074	0.218	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.033	0.370	-	0.089	INDICADORA
Calcio (Ca)	2675.003	2274.505	2523.188	1.060	0.901	INDICADORA E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	0.928	8.100	17.859	0.052	0.454	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.970	8.413	63.750	0.015	0.132	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.186	1.307	2.811	0.066	0.465	INDICADORA
Cromo (Cr)	2.679	1.794	3.783	0.708	0.474	INDICADORA E HIPERACUM
Cobre (Cu)	13.982	61.708	382.948	0.037	0.161	INDICADORA
Hierro (Fe)	714.523	3422.735	20000.000	0.036	0.171	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	16678.270	3643.872	870.566	19.158	4.186	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	<0.3	0.459	9.715	-	0.047	INDICADORA
Magnesio (Mg)	847.100	304.709	1246.551	0.680	0.244	INDICADORA E HIPERACUM

Manganeso (Mn)	317.896	447.513	481.960	0.660	0.929	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.323	1.572	-	0.205	INDICADORA
Sodio (Na)	119.173	188.313	236.422	0.504	0.797	INDICADORA
Níquel (Ni)	0.571	0.628	0.046	12.406	13.644	TOLERANTE
Fósforo (P)	1561.835	1170.140	1213.512	1.287	0.964	INDICADORA E HIPERACUM
Plomo (Pb)	78.333	373.795	1131.105	0.069	0.330	INDICADORA
Antimonio (Sb)	2.582	14.570	13.735	0.188	1.061	TOLERANTE
Selenio(Se)	1.851	1.393	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.316	0.389	1.188	0.266	0.328	INDICADORA
Estroncio (Sr)	7.639	11.310	25.363	0.301	0.446	INDICADORA
Titanio (Ti)	4.178	16.347	134.633	0.031	0.121	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	1.018	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	0.264	1.320	26.858	0.010	0.049	INDICADORA
Zinc (Zn)	260.877	927.369	1441.187	0.181	0.643	INDICADORA
HAnálisis005R	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.893	0.231	3.118	0.286	0.074	INDICADORA
Aluminio (Al)	152.326	3392.990	2822.525	0.054	1.202	TOLERANTE
Arsénico (As)	294.662	842.928	4070.098	0.072	0.207	INDICADORA
Boro (B)	6.967	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	10.103	49.214	34.600	0.292	1.422	TOLERANTE
Berilio (Be)	<0.02	0.057	0.139	-	0.407	INDICADORA
Calcio (Ca)	5400.640	2455.619	1858.977	2.905	1.321	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	5.664	6.977	14.813	0.382	0.471	INDICADORA E HIPERACUM
Cerio (Ce)	2.894	32.740	24.979	0.116	1.311	TOLERANTE
Cobalto (Co)	2.245	36.200	7.869	0.285	4.600	TOLERANTE
Cromo (Cr)	4.585	38.688	5.721	0.802	6.763	TOLERANTE
Cobre (Cu)	17.843	65.096	63.989	0.279	1.017	INDICADORA
Hierro (Fe)	1835.979	20000.000	20000.000	0.092	1.000	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	12264.943	2232.942	681.223	18.004	3.278	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	0.586	14.651	14.890	0.039	0.984	INDICADORA
Magnesio (Mg)	915.641	3682.780	3433.095	0.267	1.073	TOLERANTE
Manganeso (Mn)	1494.414	2000.000	760.466	1.965	2.630	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.933	0.233	-	4.009	TOLERANTE
Sodio (Na)	152.467	183.296	64.984	2.346	2.821	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.835	3.546	2.458	0.340	1.443	TOLERANTE
Fósforo (P)	1119.395	895.608	721.155	1.552	1.242	TOLERANTE E HIPERACUM.
Plomo (Pb)	176.791	499.615	767.572	0.230	0.651	INDICADORA
Antimonio (Sb)	9.988	11.613	11.786	0.847	0.985	INDICADORA
Selenio(Se)	2.329	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.281	0.513	0.357	0.788	1.437	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	28.130	25.014	15.054	1.869	1.662	TOLERANTE E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	14.774	281.625	145.172	0.102	1.940	TOLERANTE
Talio(Tl)	0.893	0.384	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM.
Vanadio (V)	0.756	20.327	17.823	0.042	1.140	TOLERANTE

Zinc (Zn)	466.445	396.746	1517.322	0.307	0.261	INDICADORA
TAnalisis001	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.994	10.320	12.980	0.077	0.795	INDICADORA
Aluminio (Al)	17.384	159.309	525.798	0.033	0.303	INDICADORA
Arsénico (As)	123.731	1319.998	2996.911	0.041	0.440	INDICADORA
Boro (B)	173.664	26.514	7.498	23.163	3.536	TOLERANTE E HIPERACUM.
Bario (Ba)	4.494	10.152	39.291	0.114	0.258	INDICADORA
Berilio (Be)	0.022	0.026	0.108	0.203	0.241	INDICADORA
Calcio (Ca)	5888.990	1800.727	1106.208	5.324	1.628	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	2.158	4.197	5.287	0.408	0.794	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.835	4.619	13.683	0.061	0.338	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.436	1.474	2.224	0.196	0.663	INDICADORA
Cromo (Cr)	0.567	9.338	1.405	0.403	6.645	TOLERANTE
Cobre (Cu)	10.909	62.676	107.317	0.102	0.584	INDICADORA
Hierro (Fe)	428.481	6151.559	16044.768	0.027	0.383	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	15359.918	20395.618	866.942	17.717	23.526	TOLERANTE
Litio (Li)	40.923	5.145	6.330	6.464	0.813	INDICADORA E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	700.160	666.768	634.218	1.104	1.051	TOLERANTE E HIPERACUM.
Manganeso (Mn)	309.399	117.898	159.950	1.934	0.737	INDICADORA E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	<0.2	-	-	-
Sodio (Na)	3982.109	6103.426	239.369	16.636	25.498	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.282	0.623	<0.04	-	-	-
Fósforo (P)	1877.807	2281.098	229.152	8.195	9.955	TOLERANTE
Plomo (Pb)	35.053	401.073	1461.431	0.024	0.274	INDICADORA
Antimonio (Sb)	0.964	33.680	36.683	0.026	0.918	INDICADORA
Selenio(Se)	2.210	0.934	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.406	1.502	3.552	0.114	0.423	INDICADORA
Estroncio (Sr)	25.118	13.586	21.478	1.169	0.633	INDICADORA E HIPERACUM
Titanio (Ti)	1.541	14.203	21.642	0.071	0.656	INDICADORA
Talio(Tl)	0.392	0.406	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	0.069	2.099	6.857	0.010	0.306	INDICADORA
Zinc (Zn)	393.362	366.881	387.188	1.016	0.948	TOLERANTE E HIPERACUM.
TAnalisis002	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	2.942	41.058	24.298	0.121	1.690	TOLERANTE
Aluminio (Al)	84.035	696.065	1043.419	0.081	0.667	INDICADORA
Arsénico (As)	285.976	2686.291	4989.004	0.057	0.538	INDICADORA
Boro (B)	409.303	79.310	13.331	30.704	5.949	TOLERANTE E HIPERACUM.
Bario (Ba)	15.702	52.326	66.965	0.234	0.781	INDICADORA
Berilio (Be)	0.039	0.092	0.087	0.445	1.059	-
Calcio (Ca)	8992.032	4825.513	1150.209	7.818	4.195	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	3.655	18.033	4.880	0.749	3.695	TOLERANTE
Cerio (Ce)	3.453	13.293	18.525	0.186	0.718	INDICADORA

Cobalto (Co)	0.505	3.474	2.216	0.228	1.568	TOLERANTE
Cromo (Cr)	3.549	2.545	2.279	1.557	1.116	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cobre (Cu)	24.076	131.492	109.338	0.220	1.203	INDICADORA
Hierro (Fe)	1213.770	9141.069	19221.631	0.063	0.476	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	1.772	0.559	-	3.172	TOLERANTE
Potasio (K)	22627.911	2081.222	1441.323	15.699	1.444	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	66.589	26.050	7.092	9.389	3.673	TOLERANTE E HIPERACUM.
Magnesio (Mg)	1567.263	930.357	811.599	1.931	1.146	TOLERANTE E HIPERACUM.
Manganeso (Mn)	256.153	407.547	172.525	1.485	2.362	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)	1.876	<0.2	<0.2	-	-	HIPERACUMULADORA
Sodio (Na)	4939.295	4374.167	332.390	14.860	13.160	TOLERANTE E HIPERACUM.
Níquel (Ni)	0.628	1.945	<0.04	-	-	-
Fósforo (P)	1804.884	628.854	398.232	4.532	1.579	TOLERANTE E HIPERACUM.
Plomo (Pb)	124.478	906.756	2285.086	0.054	0.397	INDICADORA
Antimonio (Sb)	4.943	40.765	65.076	0.076	0.626	INDICADORA
Selenio(Se)	1.769	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.477	3.391	6.670	0.072	0.508	INDICADORA
Estroncio (Sr)	62.510	47.938	30.493	2.050	1.572	TOLERANTE E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	5.008	28.603	50.637	0.099	0.565	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	0.638	<0.3	-	-	-
Vanadio (V)	0.586	5.926	11.493	0.051	0.516	INDICADORA
Zinc (Zn)	354.201	823.886	282.561	1.254	2.916	TOLERANTE
TAnálisis003	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	3.492	12.576	34.356	0.102	0.366	INDICADORA
Aluminio (Al)	125.191	127.714	601.972	0.208	0.212	INDICADORA
Arsénico (As)	419.892	2882.637	4740.567	0.089	0.608	INDICADORA
Boro (B)	367.317	22.025	4.214	87.157	5.226	TOLERANTE E HIPERACUM.
Bario (Ba)	9.543	11.630	36.937	0.258	0.315	INDICADORA
Berilio (Be)	0.179	<0.02	0.029	6.180	-	INDICADORA E HIPERACUM
Calcio (Ca)	12227.032	2302.370	1618.655	7.554	1.422	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	8.801	13.373	12.753	0.690	1.049	TOLERANTE
Cerio (Ce)	4.057	6.761	13.914	0.292	0.486	INDICADORA
Cobalto (Co)	4.146	1.389	2.118	1.957	0.656	INDICADORA E HIPERACUM
Cromo (Cr)	0.665	0.249	1.213	0.548	0.206	INDICADORA E HIPERACUM
Cobre (Cu)	153.305	135.222	242.496	0.632	0.558	INDICADORA E HIPERACUM
Hierro (Fe)	1739.436	6145.626	20000.000	0.087	0.307	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	0.127	0.903	-	0.141	INDICADORA
Potasio (K)	35000.000	8767.401	947.295	36.947	9.255	TOLERANTE E HIPERACUM.

Litio (Li)	43.716	5.807	5.257	8.316	1.105	HIPERACUMULADORA
Magnesio (Mg)	1655.608	305.767	575.738	2.876	0.531	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	1073.098	132.384	159.138	6.743	0.832	INDICADORA E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	0.976	<0.2	<0.2	-	-	HIPERACUMULADORA
Sodio (Na)	3544.782	1744.053	259.396	13.666	6.724	TOLERANTE E HIPERACUM.
Níquel (Ni)	2.541	0.888	<0.04	-	-	HIPERACUMULADORA
Fósforo (P)	2437.860	576.469	205.920	11.839	2.799	TOLERANTE E HIPERACUM.
Plomo (Pb)	140.500	604.208	2411.060	0.058	0.251	INDICADORA
Antimonio (Sb)	5.382	69.447	118.979	0.045	0.584	INDICADORA
Selenio(Se)	2.194	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.482	0.758	14.322	0.034	0.053	INDICADORA
Estroncio (Sr)	88.918	22.320	21.287	4.177	1.049	TOLERANTE E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	3.009	7.854	36.845	0.082	0.213	INDICADORA
Talio(Tl)	0.815	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Vanadio (V)	0.137	1.536	7.041	0.019	0.218	INDICADORA
Zinc (Zn)	2460.439	882.077	923.172	2.665	0.955	INDICADORA E HIPERACUM
JAnalisis005	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.632	22.373	40.345	0.016	0.555	INDICADORA
Aluminio (Al)	13.264	237.456	293.529	0.045	0.809	INDICADORA
Arsénico (As)	467.067	6000.000	6000.000		1.000	-
Boro (B)	42.816	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	3.676	6.258	7.003	0.525	0.894	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.051	0.095	-	0.535	INDICADORA
Calcio (Ca)	10456.637	8541.004	9507.166	1.100	0.898	INDICADORA E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	2.599	78.162	112.725	0.023	0.693	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.943	20.136	37.567	0.025	0.536	INDICADORA
Cobalto (Co)	1.275	14.261	26.651	0.048	0.535	INDICADORA
Cromo (Cr)	5.143	38.348	7.646	0.673	5.015	TOLERANTE
Cobre (Cu)	10.529	205.913	411.248	0.026	0.501	INDICADORA
Hierro (Fe)	1810.583	20000.000	20000.000	0.091	1.000	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	35000.000	16834.596	518.093	67.555	32.493	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	7.735	2.785	1.931	4.005	1.442	TOLERANTE E HIPERACUM.
Magnesio (Mg)	2759.686	2448.308	2660.890	1.037	0.920	INDICADORA E HIPERACUM.
Manganeso (Mn)	677.298	2000.000	2000.000	0.339	1.000	-
Molibdeno (Mo)	1.009	<0.2	<0.2	-	-	HIPERACUMULADORA
Sodio (Na)	441.023	446.463	27.023	16.320	16.521	TOLERANTE
Níquel (Ni)	3.030	16.788	22.815	0.133	0.736	INDICADORA
Fósforo (P)	4487.044	1869.346	283.108	15.849	6.603	TOLERANTE E HIPERACUM.
Plomo (Pb)	190.919	3854.815	5000.000	0.038	0.771	INDICADORA
Antimonio (Sb)	39.179	1281.354	2270.965	0.017	0.564	INDICADORA
Selenio(Se)	1.939	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA

Estaño (Sn)	0.320	3.424	5.071	0.063	0.675	INDICADORA
Estroncio (Sr)	27.560	11.627	11.045	2.495	1.053	TOLERANTE E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	1.410	14.893	12.391	0.114	1.202	TOLERANTE
Talio(Tl)	0.314	2.546	4.969	0.063	0.512	INDICADORA
Vanadio (V)	0.124	4.819	6.725	0.018	0.717	INDICADORA
Zinc (Zn)	673.917	5000.000	5000.000	0.135	1.000	-
JAnálisis006	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-
Aluminio (Al)	3.192	167.132	1534.929	0.002	0.109	INDICADORA
Arsénico (As)	3.113	47.820	50.190	0.062	0.953	INDICADORA
Boro (B)	36.349	13.935	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM.
Bario (Ba)	4.261	12.020	74.327	0.057	0.162	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.051	0.466	-	0.109	INDICADORA
Calcio (Ca)	8582.334	5535.277	19034.662	0.451	0.291	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	0.535	2.454	8.091	0.066	0.303	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.400	5.903	46.603	0.009	0.127	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.038	0.986	7.397	0.005	0.133	INDICADORA
Cromo (Cr)	0.155	5.095	2.370	0.065	2.150	TOLERANTE
Cobre (Cu)	5.547	9.243	10.226	0.542	0.904	INDICADORA
Hierro (Fe)	87.217	3141.414	20000.000	0.004	0.157	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	15952.625	11783.799	660.328	24.159	17.845	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	1.114	6.962	13.804	0.081	0.504	INDICADORA
Magnesio (Mg)	2911.333	4302.591	2143.925	1.358	2.007	TOLERANTE
Manganeso (Mn)	20.411	195.530	1397.784	0.015	0.140	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	3.901	1.644	0.782	4.989	2.103	TOLERANTE E HIPERACUM.
Sodio (Na)	72.741	3263.107	58.520	1.243	55.760	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.438	0.681	2.692	0.163	0.253	INDICADORA
Fósforo (P)	1602.694	1156.945	1354.170	1.184	0.854	INDICADORA E HIPERACUM.
Plomo (Pb)	2.744	66.054	382.553	0.007	0.173	INDICADORA
Antimonio (Sb)	<0.2	3.024	3.540	-	0.854	INDICADORA
Selenio(Se)	2.120	1.150	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM.
Estaño (Sn)	0.239	0.299	0.519	0.461	0.576	INDICADORA
Estroncio (Sr)	32.401	24.922	50.993	0.635	0.489	INDICADORA E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	0.863	4.438	5.711	0.151	0.777	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	<0.3	0.856	-	-	INDICADORA
Vanadio (V)	<0.02	1.792	15.049	-	0.119	INDICADORA
Zinc (Zn)	45.066	114.133	391.396	0.115	0.292	INDICADORA
MAnálisis001	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	1.323	2.906	15.635	0.085	0.186	INDICADORA
Aluminio (Al)	41.506	134.442	1158.782	0.036	0.116	INDICADORA
Arsénico (As)	155.835	428.159	6000.000	0.026	0.071	INDICADORA
Boro (B)	30.630	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA

Bario (Ba)	3.928	5.589	27.544	0.143	0.203	INDICADORA
Berilio (Be)	0.021	0.062	0.302	0.069	0.207	TOLERANTE
Calcio (Ca)	12956.482	3482.235	12993.679	0.997	0.268	INDICADORA E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	2.744	14.297	46.947	0.058	0.305	INDICADORA
Cerio (Ce)	1.316	3.449	23.465	0.056	0.147	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.340	11.333	7.687	0.044	1.474	TOLERANTE
Cromo (Cr)	2.003	8.249	16.940	0.118	0.487	INDICADORA
Cobre (Cu)	34.804	161.360	632.770	0.055	0.255	INDICADORA
Hierro (Fe)	1792.331	3973.133	20000.000	0.090	0.199	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	24839.824	9443.961	755.741	32.868	12.496	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	3.773	1.373	7.074	0.533	0.194	INDICADORA E HIPERACUM.
Magnesio (Mg)	5508.303	1280.068	1454.627	3.787	0.880	INDICADORA E HIPERACUM.
Manganeso (Mn)	613.987	2000.000	1667.396	0.368	1.199	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)	1.387	0.716	1.748	0.793	0.410	INDICADORA E HIPERACUM.
Sodio (Na)	183.711	177.045	71.747	2.561	2.468	TOLERANTE E HIPERACUM.
Níquel (Ni)	0.643	3.445	4.744	0.136	0.726	INDICADORA
Fósforo (P)	1535.504	683.845	361.692	4.245	1.891	TOLERANTE E HIPERACUM.
Plomo (Pb)	239.597	472.552	4856.829	0.049	0.097	INDICADORA
Antimonio (Sb)	4.062	12.158	62.005	0.066	0.196	INDICADORA
Selenio(Se)	2.054	2.211	<0.3	-	-	-
Estaño (Sn)	0.903	1.653	13.446	0.067	0.123	INDICADORA
Estroncio (Sr)	75.190	18.562	66.550	1.130	0.279	INDICADORA E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	2.305	4.290	25.086	0.092	0.171	INDICADORA
Talio(Tl)	0.604	1.464	1.081	0.558	1.354	TOLERANTE
Vanadio (V)	0.148	0.352	8.591	0.017	0.041	INDICADORA
Zinc (Zn)	1253.128	2749.767	5000.000	0.251	0.550	INDICADORA
MAnálisis003	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.453	7.930	30.238	0.015	0.262	INDICADORA
Aluminio (Al)	80.630	577.795	4514.945	0.018	0.128	INDICADORA
Arsénico (As)	77.105	2484.715	6000.000	0.013	0.414	INDICADORA
Boro (B)	87.884	0.403	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM.
Bario (Ba)	5.227	17.435	64.727	0.081	0.269	INDICADORA
Berilio (Be)	0.058	0.132	0.462	0.125	0.287	INDICADORA
Calcio (Ca)	18961.598	9575.665	19625.244	0.966	0.488	INDICADORA E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	16.255	45.549	66.454	0.245	0.685	INDICADORA
Cerio (Ce)	2.535	7.242	31.032	0.082	0.233	INDICADORA
Cobalto (Co)	1.783	7.584	27.690	0.064	0.274	INDICADORA
Cromo (Cr)	4.001	92.264	149.021	0.027	0.619	INDICADORA
Cobre (Cu)	69.172	302.945	778.959	0.089	0.389	INDICADORA
Hierro (Fe)	3903.062	20000.000	20000.000	0.195	1.000	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-

Potasio (K)	12668.920	10136.388	1706.824	7.423	5.939	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	6.982	4.896	19.230	0.363	0.255	INDICADORA
Magnesio (Mg)	3106.661	1525.897	5557.288	0.559	0.275	INDICADORA
Manganeso (Mn)	1450.042	1562.691	2000.000	0.725	0.781	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	0.424	2.337	4.049	0.105	0.577	INDICADORA
Sodio (Na)	867.126	1578.595	105.546	8.216	14.956	TOLERANTE
Níquel (Ni)	1.299	5.404	13.435	0.097	0.402	INDICADORA
Fósforo (P)	1134.516	1572.832	601.192	1.887	2.616	TOLERANTE
Plomo (Pb)	79.738	2416.667	5000.000	0.016	0.483	INDICADORA
Antimonio (Sb)	0.964	56.939	59.208	0.016	0.962	INDICADORA
Selenio(Se)	2.715	0.598	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM.
Estaño (Sn)	0.451	1.501	3.328	0.136	0.451	INDICADORA
Estroncio (Sr)	112.544	28.302	56.500	1.992	0.501	INDICADORA E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	1.341	15.107	38.873	0.034	0.389	INDICADORA
Talio(Tl)	0.978	1.360	5.082	0.192	0.268	INDICADORA
Vanadio (V)	<0.02	2.753	20.154	-	0.137	INDICADORA
Zinc (Zn)	2925.760	5000.000	5000.000	0.585	1.000	-
MAnálisis004	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.428	2.096	0.425	1.008	4.935	INDICADORA
Aluminio (Al)	107.851	468.290	1903.073	0.057	0.246	INDICADORA
Arsénico (As)	164.683	1710.796	1048.233	0.157	1.632	TOLERANTE
Boro (B)	27.275	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	15.233	18.915	20.683	0.737	0.915	INDICADORA
Berilio (Be)	0.049	0.127	<0.02	-	-	TOLERANTE
Calcio (Ca)	11635.349	4238.816	7698.262	1.511	0.551	INDICADORA E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	7.113	52.912	118.986	0.060	0.445	INDICADORA
Cerio (Ce)	2.089	10.311	20.028	0.104	0.515	INDICADORA
Cobalto (Co)	2.250	4.875	3.495	0.644	1.395	TOLERANTE
Cromo (Cr)	4.037	18.204	15.399	0.262	1.182	TOLERANTE
Cobre (Cu)	60.740	313.710	586.524	0.104	0.535	INDICADORA
Hierro (Fe)	3497.579	20000.000	20000.000	0.175	1.000	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	25026.950	6324.899	348.551	71.803	18.146	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	8.922	2.433	12.646	0.706	0.192	INDICADORA E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	2478.188	670.645	578.607	4.283	1.159	TOLERANTE E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	1121.515	1922.426	266.112	4.214	7.224	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)	1.041	0.984	1.185	0.878	0.831	INDICADORA
Sodio (Na)	2157.904	832.365	199.169	10.835	4.179	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	2.202	2.926	5.416	0.407	0.540	INDICADORA
Fósforo (P)	1174.428	766.116	573.949	2.046	1.335	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	100.484	610.936	818.073	0.123	0.747	INDICADORA
Antimonio (Sb)	2.860	23.126	21.148	0.135	1.093	TOLERANTE
Selenio(Se)	1.905	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.506	2.385	2.594	0.195	0.920	INDICADORA
Estroncio (Sr)	84.336	39.402	53.147	1.587	0.741	INDICADORA E HIPERACUM

Titanio (Ti)	3.416	22.140	144.675	0.024	0.153	INDICADORA
Talio(Tl)	0.742	1.404	<0.3	-	-	TOLERANTE
Vanadio (V)	0.214	2.438	17.585	0.012	0.139	INDICADORA
Zinc (Zn)	1130.593	2561.027	2457.656	0.460	1.042	TOLERANTE
MAnalisis006	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.296	3.301	11.574	0.026	0.285	INDICADORA
Aluminio (Al)	29.104	178.366	4026.770	0.007	0.044	INDICADORA
Arsénico (As)	92.896	606.724	3838.402	0.024	0.158	INDICADORA
Boro (B)	43.253	5.427	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	2.173	6.983	50.023	0.043	0.140	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.054	1.221	-	0.044	INDICADORA
Calcio (Ca)	5576.683	3874.993	34782.816	0.160	0.111	TOLERANTE
Cadmio (Cd)	5.530	59.719	59.733	0.093	1.000	INDICADORA
Cerio (Ce)	1.325	3.016	31.381	0.042	0.096	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.810	4.065	16.406	0.049	0.248	INDICADORA
Cromo (Cr)	2.281	31.216	147.587	0.015	0.212	INDICADORA
Cobre (Cu)	20.992	217.676	516.828	0.041	0.421	INDICADORA
Hierro (Fe)	1672.815	4709.629	>20000	-	-	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	15767.087	16535.571	788.601	19.994	20.968	TOLERANTE
Litio (Li)	5.873	3.420	20.755	0.283	0.165	INDICADORA E HIPERACUM
Magnesio (Mg)	2099.021	1350.110	4848.195	0.433	0.278	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	1097.662	1114.594	2000.000	0.549	0.557	INDICADORA
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.755	4.281	-	0.176	INDICADORA
Sodio (Na)	420.613	1324.408	45.476	9.249	29.123	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.928	4.133	7.384	0.126	0.560	INDICADORA
Fósforo (P)	1071.437	1190.315	674.708	1.588	1.764	TOLERANTE
Plomo (Pb)	80.007	650.580	4543.530	0.018	0.143	INDICADORA
Antimonio (Sb)	1.232	21.635	22.444	0.055	0.964	INDICADORA
Selenio(Se)	2.490	2.171	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Estaño (Sn)	0.455	0.881	3.219	0.141	0.274	INDICADORA
Estroncio (Sr)	27.397	20.323	67.298	0.407	0.302	INDICADORA E HIPERACUM
Titanio (Ti)	1.391	11.253	42.298	0.033	0.266	INDICADORA
Talio(Tl)	0.780	1.050	3.252	0.240	0.323	INDICADORA
Vanadio (V)	<0.02	0.849	16.242	-	0.052	INDICADORA
Zinc (Zn)	1242.163	3827.095	5000.000	0.248	0.765	INDICADORA
PAnalisis001	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-
Aluminio (Al)	9.855	1476.508	2220.263	0.004	0.665	INDICADORA
Arsénico (As)	4.212	73.470	114.497	0.037	0.642	INDICADORA
Boro (B)	9.119	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	2.828	8.251	7.454	0.379	1.107	TOLERANTE
Berilio (Be)	<0.02	0.308	0.385	-	0.800	INDICADORA
Calcio (Ca)	2344.747	1218.249	167.139	14.029	7.289	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	0.043	2.483	3.438	0.012	0.722	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.598	6.361	7.502	0.080	0.848	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.265	17.001	2.574	0.103	6.605	TOLERANTE

Cromo (Cr)	0.444	25.793	8.541	0.052	3.020	TOLERANTE
9.000	6.801	19.630	10.811	0.629	1.816	TOLERANTE
Hierro (Fe)	219.086	13180.316	19937.483	0.011	0.661	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	19737.407	4738.077	440.849	44.771	10.748	TOLERANTE E HIPERACUM
Litio (Li)	<0.3	6.961	11.370	-	0.612	INDICADORA
Magnesio (Mg)	1221.402	1365.910	1684.225	0.725	0.811	INDICADORA
Manganeso (Mn)	546.169	456.899	181.637	3.007	2.515	TOLERANTE E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.384	0.449	-	0.855	INDICADORA
Sodio (Na)	165.062	142.726	13.144	12.558	10.858	TOLERANTE E HIPERACUM
Níquel (Ni)	4.943	13.993	5.315	0.930	2.633	TOLERANTE
Fósforo (P)	1453.706	652.948	321.331	4.524	2.032	TOLERANTE E HIPERACUM
Plomo (Pb)	3.893	17.664	27.282	0.143	0.647	INDICADORA
Antimonio (Sb)	<0.2	3.792	1.487	-	2.551	TOLERANTE
Selenio(Se)	1.593	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.429	0.356	0.229	1.875	1.554	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	6.025	6.297	4.689	1.285	1.343	TOLERANTE
Titanio (Ti)	1.224	7.015	6.733	0.182	1.042	TOLERANTE
Talio(Tl)	0.403	0.439	<0.3	-	-	TOLERANTE
Vanadio (V)	<0.02	7.189	10.739	-	0.669	INDICADORA
Zinc (Zn)	31.098	28.325	29.776	1.044	0.951	INDICADORA E HIPERACUM
PAnalisis002	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	<0.05	0.235	<0.05	-	-	TOLERANTE
Aluminio (Al)	37.787	500.116	2127.502	0.018	0.235	INDICADORA
Arsénico (As)	3.930	50.649	153.648	0.026	0.330	INDICADORA
Boro (B)	31.452	14.362	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Bario (Ba)	7.631	19.072	8.548	0.893	2.231	INDICADORA
Berilio (Be)	0.074	0.077	0.250	0.298	0.308	INDICADORA
Calcio (Ca)	6742.868	2762.826	173.140	38.945	15.957	TOLERANTE E HIPERACUM
Cadmio (Cd)	2.149	3.215	3.299	0.651	0.975	INDICADORA
Cerio (Ce)	1.954	4.115	8.064	0.242	0.510	INDICADORA
Cobalto (Co)	14.852	9.570	2.693	5.515	3.554	TOLERANTE E HIPERACUM
Cromo (Cr)	0.622	9.039	8.734	0.071	1.035	TOLERNATE
Cobre (Cu)	12.862	26.049	12.309	1.045	2.116	TOLERANTE
Hierro (Fe)	430.765	4109.946	18835.280	0.023	0.218	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	12123.072	29392.570	457.893	26.476	64.191	TOLERANTE
Litio (Li)	0.564	3.398	11.784	0.048	0.288	TOLERANTE
Magnesio (Mg)	2517.280	1422.254	1875.378	1.342	0.758	INDICADORA E HIPERACUM
Manganeso (Mn)	794.272	463.720	159.980	4.965	2.899	TOLERANTE E HIPERACUM
Molibdeno (Mo)	<0.2	0.498	0.606	-	0.822	INDICADORA
Sodio (Na)	160.198	223.453	22.346	7.169	10.000	TOLERANTE
Níquel (Ni)	47.040	22.765	6.209	7.576	3.666	TOLERANTE E HIPERACUM
Fósforo (P)	1317.004	1454.796	391.928	3.360	3.712	TOLERANTE
Plomo (Pb)	5.856	85.938	73.304	0.080	1.172	TOLERANTE
Antimonio (Sb)	<0.2	2.213	2.120	-	1.044	TOLERANTE
Selenio(Se)	2.149	1.148	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Estaño (Sn)	0.455	0.780	0.714	0.637	1.094	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	25.676	25.867	5.190	4.947	4.984	TOLERANTE

Titanio (Ti)	2.103	24.210	17.240	0.122	1.404	TOLERANTE
Talio(Tl)	0.690	0.424	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM
Vanadio (V)	0.140	4.081	13.702	0.010	0.298	INDICADORA
Zinc (Zn)	51.468	169.837	29.755	1.730	5.708	TOLERANTE
PAnálisis003	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.111	<0.05	<0.05	-	-	HIPERACUMULADORA
Aluminio (Al)	63.938	1095.042	1698.319	0.038	0.645	INDICADORA
Arsénico (As)	3.978	136.422	251.208	0.016	0.543	INDICADORA
Boro (B)	9.418	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	12.512	7.510	13.391	0.934	0.561	INDICADORA E HIPERACUM.
Berilio (Be)	0.083	0.348	0.308	0.268	1.133	TOLERANTE
Calcio (Ca)	2162.028	800.564	96.934	22.304	8.259	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	0.135	42.496	9.802	0.014	4.335	TOLERANTE
Cerio (Ce)	0.661	44.135	13.334	0.050	3.310	TOLRANTE
Cobalto (Co)	3.214	4.434	3.450	0.932	1.285	TOLERANTE
Cromo (Cr)	0.641	5.589	7.855	0.082	0.711	INDICADORA
Cobre (Cu)	10.195	17.523	7.533	1.353	2.326	TOLERANTE
Hierro (Fe)	767.031	20000.000	20000.000	0.038	1.000	-
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	22141.513	2522.274	402.885	54.957	6.261	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	2.459	0.977	8.541	0.288	0.114	INDICADORA E HIPERACUM.
Magnesio (Mg)	1149.434	255.869	1219.802	0.942	0.210	INDICADORA E HIPERACUM.
Manganeso (Mn)	329.869	131.704	154.397	2.136	0.853	INDICADORA E HIPERACUM.
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	<0.2	-	-	-
Sodio (Na)	304.205	101.945	11.463	26.539	8.894	TOLERANTE E HIPERACUM.
Níquel (Ni)	14.117	2.900	5.187	2.722	0.559	INDICADORA E HIPERACUM.
Fósforo (P)	1759.518	1006.278	519.650	3.386	1.936	TOLERANTE E HIPERACUM.
Plomo (Pb)	3.465	18.226	16.264	0.213	1.121	TOLERANTE
Antimonio (Sb)	<0.2	7.220	4.986	-	1.448	TOLERANTE
Selenio(Se)	1.714	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.318	2.087	0.450	0.707	4.635	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	14.882	3.790	4.921	3.024	0.770	INDICADORA E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	1.294	2.642	7.770	0.167	0.340	INDICADORA
Talio(Tl)	<0.3	0.562	<0.3	-	-	TOLERANTE
Vanadio (V)	0.084	2.958	9.413	0.009	0.314	INDICADORA
Zinc (Zn)	52.390	43.223	40.022	1.309	1.080	TOLERANTE E HIPERACUM.
PAnálisis004	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-
Aluminio (Al)	66.746	248.937	1595.284	0.042	0.156	INDICADORA
Arsénico (As)	24.543	42.644	104.832	0.234	0.407	INDICADORA

Boro (B)	24.807	7.189	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM.
Bario (Ba)	5.771	10.147	5.884	0.981	1.725	INDICADORA
Berilio (Be)	<0.02	0.023	0.137	-	0.168	INDICADORA
Calcio (Ca)	8400.468	1789.720	275.808	30.458	6.489	INDICADORA E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	0.740	0.803	4.367	0.169	0.184	INDICADORA
Cerio (Ce)	1.159	1.465	13.058	0.089	0.112	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.490	0.803	1.957	0.250	0.410	INDICADORA
Cromo (Cr)	2.844	9.874	7.576	0.375	1.303	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cobre (Cu)	11.051	10.047	13.249	0.834	0.758	INDICADORA E HIPERACUM.
Hierro (Fe)	773.280	3890.811	>20000	-	-	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	21381.934	21251.432	436.362	49.000	48.701	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	1.015	2.063	8.590	0.118	0.240	INDICADORA
Magnesio (Mg)	4560.301	1044.248	1023.317	4.456	1.020	TOLERANTE
Manganeso (Mn)	1161.242	184.271	153.518	7.564	1.200	TOLERANTE E HIPERACUM.
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	0.312	-	-	INDICADORA
Sodio (Na)	195.419	118.547	12.334	15.844	9.611	TOLERANTE E HIPERACUM.
Níquel (Ni)	1.808	1.333	2.392	0.756	0.557	INDICADORA E HIPERACUM.
Fósforo (P)	2508.823	2764.605	312.361	8.032	8.851	TOLERANTE
Plomo (Pb)	16.616	15.619	69.861	0.238	0.224	INDICADORA E HIPERACUM.
Antimonio (Sb)	0.308	1.148	4.546	0.068	0.252	INDICADORA
Selenio(Se)	2.335	0.998	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM.
Estaño (Sn)	0.346	0.266	0.274	1.265	0.971	-
Estroncio (Sr)	10.782	8.749	2.987	3.609	2.929	TOLERANTE E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	4.967	2.981	10.367	0.479	0.288	INDICADORA E HIPERACUM.
Talio(Tl)	0.515	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Vanadio (V)	0.264	2.013	13.335	0.020	0.151	INDICADORA
Zinc (Zn)	68.743	72.370	87.294	0.787	0.829	INDICADORA
PAnálisis005	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	-
Aluminio (Al)	89.003	870.748	1142.936	0.078	0.762	INDICADORA
Arsénico (As)	12.028	43.222	71.977	0.167	0.600	INDICADORA
Boro (B)	11.695	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Bario (Ba)	13.993	10.439	6.051	2.313	1.725	TOLERANTE E HIPERACUM.
Berilio (Be)	0.093	0.417	0.219	0.426	1.908	TOLERANTE
Calcio (Ca)	3834.402	1637.551	72.961	52.554	22.444	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	0.311	3.807	1.866	0.167	2.040	TOLERANTE
Cerio (Ce)	1.190	4.677	5.587	0.213	0.837	INDICADORA
Cobalto (Co)	3.923	11.861	1.533	2.559	7.738	TOLERANTE
Cromo (Cr)	0.775	1.847	3.944	0.196	0.468	INDICADORA

Cobre (Cu)	9.499	14.498	3.329	2.853	4.355	TOLERANTE
Hierro (Fe)	778.458	19780.348	11153.705	0.070	1.773	TOLERANTE
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	29100.034	9187.547	347.713	83.690	26.423	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	0.734	3.211	4.696	0.156	0.684	INDICADORA
Magnesio (Mg)	3835.637	1027.417	806.255	4.757	1.274	TOLERANTE E HIPERACUM.
Manganeso (Mn)	1546.088	305.625	95.281	16.227	3.208	TOLERANTE E HIPERACUM.
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	0.290	-	-	-
Sodio (Na)	203.543	429.417	13.658	14.903	31.441	TOLERANTE
Níquel (Ni)	11.074	17.494	2.895	3.825	6.043	TOLERANTE
Fósforo (P)	2040.764	1285.494	276.903	7.370	4.642	TOLERANTE E HIPERACUM.
Plomo (Pb)	7.426	11.679	12.202	0.609	0.957	INDICADORA
Antimonio (Sb)	<0.2	2.263	2.405	-	0.941	INDICADORA
Selenio(Se)	3.037	<0.3	<0.3	-	-	HIPERACUMULADORA
Estaño (Sn)	0.419	0.570	0.115	3.652	4.966	TOLERANTE
Estroncio (Sr)	38.227	17.446	5.806	6.584	3.005	TOLERANTE E HIPERACUM.
Titanio (Ti)	2.375	4.627	6.245	0.380	0.741	INDICADORA
Talio(Tl)	0.989	1.605	<0.3	-	-	TOLERANTE
Vanadio (V)	<0.02	2.283	6.420	-	0.356	INDICADORA
Zinc (Zn)	68.334	76.869	7.335	9.317	10.480	TOLERANTE
PAnálisis006	HOJAS (mg/Kg)	RAIZ (mg/Kg)	SUSTRATO (mg/Kg)	FBC (HOJAS)	FBC (RAIZ)	CLASIFICACION
Plata (Ag)	0.813	<0.05	<0.05	-	-	HIPERACUMULADORA
Aluminio (Al)	39.493	881.534	1344.396	0.029	0.656	INDICADORA
Arsénico (As)	3.471	25.907	69.287	0.050	0.374	INDICADORA
Boro (B)	20.254	1.148	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM.
Bario (Ba)	5.883	37.730	6.619	0.889	5.700	TOLERANTE
Berilio (Be)	<0.02	0.166	0.152	-	1.090	TOLERANTE
Calcio (Ca)	1755.305	1310.609	338.291	5.189	3.874	TOLERANTE E HIPERACUM.
Cadmio (Cd)	0.150	1.842	2.871	0.052	0.642	INDICADORA
Cerio (Ce)	0.480	4.716	5.148	0.093	0.916	INDICADORA
Cobalto (Co)	0.161	9.666	4.573	0.035	2.114	TOLERANTE
Cromo (Cr)	0.901	8.142	5.089	0.177	1.600	TOLERANTE
Cobre (Cu)	3.941	9.439	6.952	0.567	1.358	TOLERANTE
Hierro (Fe)	544.011	9464.943	16729.095	0.033	0.566	INDICADORA
Mercurio (Hg)	<0.06	<0.06	<0.06	-	-	-
Potasio (K)	15074.060	7767.902	367.188	41.053	21.155	TOLERANTE E HIPERACUM.
Litio (Li)	1.201	2.224	7.648	0.157	0.291	INDICADORA
Magnesio (Mg)	2052.086	1089.939	927.694	2.212	1.175	TOLERANTE E HIPERACUM.
Manganeso (Mn)	119.917	1138.293	340.249	0.352	3.345	TOLERANTE
Molibdeno (Mo)	<0.2	<0.2	0.272	-	-	INDICADORA
Sodio (Na)	79.009	140.132	10.515	7.514	13.327	TOLERANTE
Níquel (Ni)	0.591	7.290	3.072	0.192	2.373	TOLERANTE
Fósforo (P)	1211.725	801.620	283.271	4.278	2.830	TOLERANTE E HIPERACUM.

Plomo (Pb)	2.631	55.597	33.774	0.078	1.646	TOLERANTE
Antimonio (Sb)	<0.2	2.425	2.603	-	0.932	INDICADORA
Selenio(Se)	1.841	0.555	<0.3	-	-	TOLERANTE E HIPERACUM.
Estaño (Sn)	0.374	0.328	0.208	1.796	1.577	TOLERANTE E HIPERACUM.
Estroncio (Sr)	2.628	8.969	2.777	0.946	3.230	TOLERANTE
Titanio (Ti)	1.567	12.483	7.926	0.198	1.575	TOLERANTE
Talio(Tl)	<0.3	0.797	<0.3	-	-	TOLERANTE
Vanadio (V)	0.328	4.631	9.642	0.034	0.480	INDICADORA
Zinc (Zn)	29.664	51.977	22.372	1.326	2.323	TOLERANTE