

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE
FITORREMEDIACIÓN PARA LA INMOVILIZACIÓN
ANAERÓBICA DE METALES TOTALES DE LAS AGUAS DEL
RÍO SHALLAP - HUARAZ - 2020**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

Tesista: Br. ALEGRE OROPEZA, CRISTIAM JOSEPH

Asesor: Dr. PALOMINO CADENAS, EDWIN JULIO

Huaraz – Áncash - Perú

2022





"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional "

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de la tesis "**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN PARA LA INMOVILIZACIÓN ANAERÓBICA DE METALES TOTALES DE LAS AGUAS DEL RÍO SHALLAP - HUARAZ - 2020**", que presenta **ALEGRE OROPEZA CRISTIAM JOSEPH** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

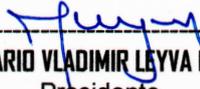
En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

.....**APROBADO**.....

Con el calificativo de: **DIECISEIS** (16)

En consecuencia, **ALEGRE OROPEZA CRISTIAM JOSEPH** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° y 4ta disposición complementaria del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 05 de diciembre de 2022



MSc. MARIO VLADIMIR LEYVA COLLAS
Presidente
Jurado de sustentación



Ing. FRANCISCO CLAUDIO LEÓN HUERTA
Primer miembro
Jurado de sustentación



MSc. CHRISTIE CIBELES DURAN GARCIA
Segundo miembro
Jurado de sustentación



Dr. EDWIN JULIO PALOMINO CADENAS
Asesor del tesista



DEDICATORIA

A mis Padres: Carmela Oropeza Maguiña y Segundo F. Alegre Padilla, por el amor, apoyo y esfuerzo incondicional que me brindan en toda etapa de mi vida.

A mis hermanos Giovana, Whitman, Wendy, por sus valores y consideración, que me permiten gozar del amor de familia y a mis sobrinos Bryan, Wendy, Sebastián, Williams, Lyam y Valeria, por el cariño mutuo que nos tenemos.

Cristiam Joseph Alegre Oropeza

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen del Carmen por las bendiciones derramadas hacia mi
persona.

Al Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas, por su amistad, el apoyo y la
motivación en la realización de esta investigación.

A Mariza Katia Brito Rodríguez por su apoyo incondicional en la elaboración
de este proyecto de investigación.

A mis docentes de la Facultad de Ciencias del Ambiente, quienes me
brindaron sus conocimientos teóricos y prácticos.

A mis amigos, que con todas las vivencias que tuvimos me permitieron
asumir que se puede contar con ellos en todas etapas de la vida.

RESUMEN

La presente investigación, tiene como propósito evaluar la eficiencia del sistema fitorremediador para inmovilizar metales totales del drenaje ácido de roca (DAR) del río Shallap. Este sistema tiene como componentes biológicos bacterias sulfatoreductoras y especies vegetales (*Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp*) colectadas de ambientes extremos (drenaje ácido, metales pesados, fluctuaciones térmicas entre -5 y 20°C). Las especies vegetales fueron propagadas en un invernadero (HR 60% y temperatura de 20°C); las bacterias sulfato reductoras (BSR) fueron propagadas en el medio Postgate B en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la UNASAM. Al humedal piloto (90 cm x 50 cm x 32 cm) se le incorporo: grava 5cm - arena fina 7cm – BSR 3L, turba 7cm - especies vegetales, arena fina y drenaje ácido de roca (DAR) del río Shallap. El sistema fitorremediador se estabilizó en dos meses, momento en el que se determinó la concentración de metales totales (Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry), para luego calcular la eficiencia del sistema (prueba de rangos de Wilcoxon), la selectividad de especies vegetales para acumular metales; y, el destino de mayor acumulación de metal pesado entre el sedimento y las especies vegetales (coeficiente de correlación de Pearson). La eficiencia de la inmovilización de metales pesados es superior al 60% (Al 99.7%, Co 91.8%, Ce 90.2%, Ti 87.8%, Fe 85.4%, Pb 84.8%, Ni 64,1% y Zn 63.2%), elevando el pH de 3.53 a 6.85; las especies vegetales acumulan: *Calamagrostis ovata* Al, Co, Fe, Ni, Pb y Zn, *Distichia sp* Al, Co, Ni, Pb y Zn, *Calamagrostis ligulata* Al, Co, Ni y Pb, *Juncus bufonius* Al, Co, Fe y Ni, *Juncus articus* Ni y Zn; los metales que se inmovilizan principalmente en el sedimento son el Al 77%, Fe 85%, Pb 84%, mientras que en las especies vegetales se acumulan principalmente el Co 62%, Ni 60%, Zn 59 %.

Palabras clave: Fitorremediación anaeróbica, drenaje ácido, BSR, *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata*, *Distichia sp*.

ABSTRACT

The purpose of this research is to evaluate the efficiency of the phytoremediation system to immobilize total metals from the acid rock drainage (DAR) of the Shallap River. This system has as biological components sulfate-reducing bacteria and plant species (*Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp*) collected from extreme environments (acid drainage, heavy metals, temperature fluctuations between -5 and 20°C). Plant species were propagated in a greenhouse (60% RH and 20°C temperature); Sulfate-reducing bacteria (BSR) were propagated in Postgate B medium in the Environmental Quality Laboratory of the Faculty of Environmental Sciences of UNASAM. The pilot wetland (90 cm x 50 cm x 32 cm) was incorporated: 5cm gravel - 7cm fine sand - 3L BSR, 7cm peat - plant species, fine sand and acid rock drainage (ARD) from the Shallap River. The phytoremediation system was stabilized in two months, at which time the concentration of total metals was determined (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry), to later calculate the efficiency of the system (Wilcoxon range test), the selectivity of plant species to accumulate metals; and, the fate of the greatest accumulation of heavy metal between the sediment and the plant species (Pearson's correlation coefficient). The immobilization efficiency of heavy metals is higher than 60% (Al 99.7%, Co 91.8%, Ce 90.2%, Ti 87.8%, Fe 85.4%, Pb 84.8%, Ni 64.1% and Zn 63.2%), raising the pH from 3.53 to 6.85; plant species accumulate: *Calamagrostis ovata* Al, Co, Fe, Ni, Pb and Zn, *Distichia sp* Al, Co, Ni, Pb and Zn, *Calamagrostis ligulata* Al, Co, Ni and Pb, *Juncus bufonius* Al, Co, Fe and Ni, *Juncus articus* Ni and Zn; the metals that are mainly immobilized in the sediment are Al 77%, Fe 85%, Pb 84%, while Co 62%, Ni 60%, Zn 59% accumulate mainly in plant species.

Keywords: Anaerobic phytoremediation, acid drainage, *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata*, *Distichia sp*.

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁG.
AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN	ii
ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
RELACIÓN DE TABLAS.....	xi
RELACIÓN DE FIGURAS	xii
ABREVIATURAS Y SIGLAS INSTITUCIONALES	xv
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo General.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 Hipótesis	4
1.3 Variables	4
1.4 Descripción del ámbito de investigación	6
CAPITULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases teóricas	11
2.1.1 Contaminación del agua por metales totales	11
2.1.2 Biorremediación	11
2.1.2.1 Fitorremediación.....	12
2.1.2.2 Metales en plantas y fitotoxicidad	14
2.1.3 Bacterias sulfatoreductoras	14
2.1.3.1 Metales en plantas y fitotoxicidad.....	15
2.1.4 Potencial de hidrogeno (pH).....	16
2.1.5 Coloides organico-minerales (arcilla).....	16
2.1.5.1 Electropositivos.....	16
2.1.5.2 Electronegativos.....	17
2.1.6 Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua.....	17
2.3 Definición de términos.....	19

CAPITULO III	23
MARCO METODOLÓGICO.....	23
3.1 Tipo de investigación.....	23
3.2 Diseño de investigación.....	24
3.3 Caracterización del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico	24
3.3.1 Propagación de las especies vegetales.....	24
3.3.2 Muestreo de tejido vegetal (antes de ser introducidas a los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico).....	25
3.3.3 Siembra de las bacterias sulfatoreductoras.....	26
3.3.4 Acopio de sustratos	27
3.3.5 Construcción del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico	27
3.3.6 Recolección de agua del río Shallap.....	29
3.3.7 Medición de parámetros de pH y conductividad (afluente).....	29
3.3.8 Análisis de metales totales en el agua del río Shallap (afluente).....	30
3.3.9 Muestreo del tejido vegetal extraído de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico	31
3.3.10 Muestreo del sedimento.....	31
3.3.11 Recolección de agua del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.....	32
3.3.11.1 Análisis de metales totales en el agua (efluente)	32
3.3.11.2 Medición de parámetros de pH y conductividad (efluente)	32
3.4 Población y muestra	33
3.5 Análisis estadístico de la información.....	36
CAPITULO IV	37
RESULTADOS	37
CAPITULO V	53
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	53
CAPITULO VI.....	59
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS	66

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.	5
Tabla 2: Clasificación de la fitorremediación sobre la base de mecanismos.....	13
Tabla 3: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.....	18
Tabla 4: Ubicación de los puntos de extracción de las especies vegetales para la propagación.....	25
Tabla 5: Composición del medio de cultivo Postgate B para las BSR.....	26
Tabla 6: Clasificación del pH para el agua	30
Tabla 7: Clasificación de la conductividad del agua.....	30
Tabla 8: Codificación de las muestras de DAR del río Shallap.....	33
Tabla 9: Codificación de las muestras de agua del efluente de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico.....	33
Tabla10: Codificación de las muestras de DAR del río Shallap para el pH y conductividad en época seca y época de avenida.....	34
Tabla 11: Codificación de las muestras del efluente de los sistemas de fitorremediación anaeróbico para el pH y conductividad.....	34
Tabla 12: Codificación para muestras de tejido vegetal antes de después de ser introducidas a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.....	35
Tabla 13: Codificación de las muestras de sedimento de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico.....	35
Tabla 14: Comparación de la concentración de metales totales del DAR del río Shallap (afluente) con el efluente de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico.....	41
Tabla 15: Eficiencia del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico para la inmovilización de metales pesados del DAR del río Shallap.....	44
Tabla 16: Comparación de la concentración de metales pesados en los tejidos vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.....	45
Tabla 17: Comparación del destino de metales pesados entre el sedimento y las especies vegetales.....	51
Tabla 18: Resultados del análisis de agua superficial del DAR del río Shallap en época seca y época de avenida.....	80
Tabla 19: Resultados del análisis de agua del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.....	81
Tabla 20: Concentración de hierro total en suelo (mg/Kg).....	82
Tabla 21: Resultados del pH en el DAR del río Shallap (afluente) época seca y época de avenida.....	82
Tabla 22: Resultados de la medición del pH en el efluente del sistema piloto de fitorremediación con instrumentos del Laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM.....	83
Tabla 23: Resultados de la conductividad en el DAR del río Shallap (afluente) época seca y época de avenida.....	83

Tabla 24: Resultados de la medición de la conductividad en el efluente del sistema piloto de fitorremediación con instrumentos del Laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM.....	84
Tabla 25: Resultados del análisis de metales totales en las especies vegetales antes de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.....	85
Tabla 26: Resultados del análisis de metales totales en las especies vegetales después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	86
Tabla 27: Resultado del análisis de sedimento acumulado en el sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.....	87
Tabla 28: Análisis estadístico de la comparación en la concentración del DAR del río Shallap (afluente) y el efluente.	89
Tabla 29: Análisis estadístico del planteo de la prueba de rangos de wilcoxon en base a las medianas en estudio del experimento.	89
Tabla 30: Análisis estadístico del planteo de la prueba de rangos de wilcoxon....	90
Tabla 31: Análisis estadístico del coeficiente de correlación de Pearson.	90

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Punto de acopio de DAR del río Shallap (afluente): Se muestra la presencia de sedimentos.....	7
Figura 2. Procesos en la fitorremediación	13
Figura 3. Esquema de investigación.....	24
Figura 4. Sistema piloto de fitorremediación anaeróbico	28
Figura 5. Distribución de las especies vegetales en los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico.....	29
Figura 6. Propagación de especies vegetales en el invernadero; (a) <i>Juncus articus</i> , (b) <i>Calamagrostis ligulata</i> , (c) <i>Juncus bufonius</i> , (d) <i>Calamagrostis ovata</i> , (e) <i>Distichia sp.</i>	38
Figura 7. Estabilización de las especies vegetales en los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico (3 repeticiones).....	39
Figura 8. Comparación del pH en el DAR del río Shallap (afluente) y efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.....	39
Figura 9. Comparación de la conductividad en el DAR del río Shallap (afluente) y efluente del sistema piloto fitorremediador anaeróbico.....	40
Figura 10. Comparación de las concentraciones del aluminio entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	42
Figura 11. Comparación de las concentraciones del cerio entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	42

Figura 12. Comparación de las concentraciones del cobalto entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	42
Figura 13. Comparación de las concentraciones del hierro entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	42
Figura 14. Comparación de las concentraciones del níquel entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	43
Figura 15. Comparación de las concentraciones del plomo entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	43
Figura 16. Comparación de las concentraciones del titanio entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	43
Figura 17. Comparación de las concentraciones del zinc entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	43
Figura 18. Comparación de la acumulación de aluminio entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	47
Figura 19. Comparación de la acumulación de cobalto entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	47
Figura 20. Comparación de la acumulación de hierro entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	48
Figura 21. Comparación de la acumulación de níquel entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	48
Figura 22. Comparación de la acumulación de plomo entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	49
Figura 23. Comparación de la acumulación de zinc entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	49
Figura 24. Comparación de la acumulación del aluminio entre el sedimento y las especies vegetales.	50
Figura 25. Comparación de la acumulación del cobalto entre el sedimento y las especies vegetales.	50
Figura 26. Comparación de la acumulación níquel entre el sedimento y las especies vegetales.	50

Figura 27. Comparación de la acumulación del hierro entre el sedimento y las especies vegetales.	50
Figura 28. Comparación de la acumulación del plomo entre el sedimento y las especies vegetales.	51
Figura 29. Comparación de la acumulación del zinc entre el sedimento y las especies vegetales.	51
Figura 30. Comparación del destino de la acumulación de metales pesados entre la sedimentación y la fitorremediación.	52
Figura 31. Ubicación del punto de muestreo y recolección de agua para el sistema de fitorremediación anaeróbico.	54
Figura 32. Coeficiente de correlación de Pearson para medir la relación entre la fitorremediación y la sedimentación del sistema fitorremediador anaeróbico.	91

ABREVIATURAS Y SIGLAS INSTITUCIONALES

Abreviaturas:

Al	: Aluminio.
As	: Arsénico.
BSR	: Bacterias sulfato reductoras.
Cd	: Cadmio.
Ce	: Cerio.
Co	: Cobalto.
Cu	: Cobre.
DAR	: Drenaje ácido de roca.
DAM	: Drenaje ácido de mina.
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental.
Fe	: Hierro.
HA	: Humedal artificial.
SH-01	: Muestra del DAR del río Shallap nº01.
SH-02	: Muestra del DAR agua del río Shallap nº02.
SH-P01	: Muestra de agua en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico nº01.
SH-P02	: Muestra de agua en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico nº02.
SH-P03	: Muestra de agua en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico nº03.
Pb	: Plomo.
pH	: Potencial de hidrógeno.
TV	: Tejido vegetal.
Ti	: Titanio.
Zn	: Zinc.

Siglas institucionales:

EPA	: Environmental Protection Agency.
UNASAM	: Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo".

MINAM : Ministerio del ambiente.
MINEM : Ministerio de energía y minas.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el drenaje ácido de roca (DAR) es un problema ambiental generalizado que causa efectos adversos a la calidad del agua superficial y subterránea a través de la acidificación, alta concentración de hierro, sulfato y niveles elevados de metales tóxicos solubles. Las tecnologías de tratamiento activo a menudo son caras y requieren atención regular, lo que resulta en un aumento de los costos generales debido a los gastos de operación y mantenimiento (Sheoran, Sheoran, & Choudhary, 2010).

Los sistemas de tratamiento de humedales artificiales son sistemas diseñados que han sido construidos e implementados para utilizar los procesos naturales que involucran vegetación de humedales, suelos y sus conjuntos microbianos asociados para ayudar en el tratamiento de aguas contaminadas. Están diseñados para aprovechar muchos de los mismos procesos que ocurren en los humedales naturales, pero lo hacen dentro de un entorno más controlado (Vymazal, 2008).

Actualmente los humedales artificiales son utilizados como sistemas la capacidad depuradora de los humedales naturales incentivó el desarrollo de los sistemas de depuración basados en humedales artificiales, que en Europa se remonta a los años “50” del siglo XX, y en Estados Unidos a la década de los “60” del mismo siglo. La denominación que se aplica a estos sistemas es la de “humedales artificiales”, en oposición a la denominación “humedales naturales”, en los que el hombre no ha influido en su construcción. En la lengua anglosajona los humedales artificiales se

denominan “constructed wetlands”. Los humedales artificiales consisten normalmente en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrofitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. El efluente, normalmente después de recibir un pre-tratamiento, pasa a través del humedal durante el tiempo de retención. El efluente es tratado a través de varios procesos físico químico y bacteriológico (Fernández, 2010).

Se probó que si se cultivaba el musgo *Scorpiurum circinatum* (Brid.) Fleisch. & Loeske con soluciones de metales (Cd, Cu, Pb y Zn) durante 30 días provoca bioacumulación de metales y cambios ultraestructurales. Los resultados mostraron que, a pesar de las altas concentraciones de metales pesados en las soluciones de tratamiento, las muestras tratadas no mostraron cambios ultraestructurales severos y las células aún estaban vivas y generalmente bien conservadas. La bioacumulación destacó que las células de musgo sobrevivieron a la toxicidad de los metales pesados al inmovilizar extracelularmente la mayoría de los iones tóxicos, probablemente en los sitios de unión de la pared celular, que es el sitio principal de desintoxicación de metales (Basile, Sorbo, Pisani, Paoli, & Munzi, 2012).

En la actualidad, el cambio climático está modificando de manera importante los ciclos que regulan la cantidad y calidad de las reservas de agua en el mundo. Esto se debe, particularmente, al aumento de la temperatura; la cuenca de Shallap es un escenario en el que se viene afectando desde hace décadas la calidad de las lagunas y los ríos debido a su acidificación por el drenaje ácido de roca (DAR) y la lixiviación de metales, lo que ha producido la disminución de especies importantes para la sostenibilidad de estos ecosistemas (Loayza, 2014).

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de inmovilizar los metales pesados presentes en las aguas del río Shallap. Estas aguas al ser analizadas con los parámetros de presencia de metales totales y pH, en dos estaciones del año (época seca y época de avenida), nos indican que tienen alto contenido de metales pesados y un bajo pH, la cual altera la calidad de las aguas del río Shallap. Este experimento se realizó con diferentes especies vegetales (*Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp.*), que tienen la característica de adaptación a condiciones extremas de presencia de

pH ácido, drenaje ácido de mina y drenaje ácido de roca, las cuales se acondicionaron a los sistemas pilotos de fitorremediación anaeróbica con presencia de bacterias sulfatoredutoras y sustratos (arena fina, grava y turba); cumpliendo con la función de fitorremediar la presencia de metales pesados y elevando el pH significativamente en el efluente de los sistemas instalados, comparando los resultados obtenidos del pH se encuentra dentro de los ECAs de la categoría 3, superando los 6.73 respectivamente (MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, 2017), además se puede indicar que a este pH hay algunos metales pesados que llegan a precipitar y son parte de los sedimentos que han sido analizados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Determinar la capacidad de un sistema piloto de fitorremediación para la inmovilización anaeróbica de metales totales de las aguas del río Shallap - Huaraz.

1.1.2 Objetivos específicos

- Propagar las especies vegetales *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp* bajo condiciones de invernadero en Huaraz.
- Determinar las concentraciones de metales totales presentes en las especies vegetales propagadas en condiciones de invernadero.
- Monitorear el pH y la conductividad eléctrica en la entrada y salida del sistema piloto de fitorremediación anaeróbica construido, puesta en funcionamiento con aguas del río shallap y especies vegetales *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp*.
- Determinar las concentraciones de metales totales presentes en las especies vegetales *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*,

Calamagrostis ovata y *Distichia sp*, del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

- Determinar los metales totales de mayor acumulación en el sedimento del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico construido.

1.2 Hipótesis

La capacidad de un sistema piloto de fitorremediación para inmovilización anaeróbica de metales totales, mejora la calidad de las aguas del río Shallap – Huaraz.

1.3 Variables

Para el desarrollo de la investigación se ha operacionalizado las siguientes variables:

Tabla 1. Operacionalización de variables.

VARIABLES		INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO E INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Independiente	Componentes del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico	Concentración de metales totales en el DAR shallap (afluente) del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	Miligramos por litro	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry. 1994.
		Concentración de metales totales en las especies vegetales <i>Juncus articus</i> , <i>Juncus bufonius</i> , <i>Calamagrostis ligulata</i> , <i>Calamagrostis ovata</i> y <i>Distichia sp</i> , antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	Miligramos por kilogramo	EPA Method 200.3, Rev.1, April.1991. Metals, Total Recoverable in Biological Tissues / EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version 1994.
		Concentración de metales totales en el sedimento.	Miligramos por Kilogramo	EPA 3050-B (1996) / EPA Method 200.7 Revision 4.4 (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils Revision 2 December 1996 / Determination of Metals and Trace Elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
		Medición del pH en el DAR shallap (afluente)	Unid. pH	APHA 4500-H+ B. versión-2012
Dependiente	Inmovilización de metales pesados de las aguas del rio shallap	Concentración de metales totales en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.	Miligramos por litro	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry. 1994.
		Medición del pH en el efluente.	Unid. Ph	APHA 4500-H+ B. versión-2012.
		Muestreo del sedimento	Miligramos por kilogramo	EPA 3050-B (1996) / EPA Method 200.7 Revision 4.4 (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils Revision 2 December 1996 / Determination of Metals and Trace Elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry).

1.4 Descripción del ámbito de investigación

Los temas y enfoques sobre la prevención y manejo del drenaje ácido de roca son los mismos alrededor del mundo determinados por la contaminación de agua. Sin embargo, las técnicas específicas utilizadas para la predicción, interpretación de los resultados de las pruebas y el manejo del drenaje ácido de roca pueden diferir dependiendo del contexto local, regional o nacional y se adaptan al clima, topografía y otras condiciones del sitio. Por lo tanto, a pesar de las similitudes en los temas de DAR, no existe un enfoque a la medida de todos para tratarlo (INAP, 2012). La región Ancash no es ajena a este problema y viene evidenciando la alteración de la calidad del agua con la presencia de metales pesados tales como el hierro, cadmio, aluminio, etc. (LOAYZA, 2014).

La presente investigación tuvo la finalidad de contribuir en la mejora de la calidad de las aguas del río Shallap, teniendo en cuenta que en la actualidad afrontamos la problemática de la contaminación de las aguas del río Shallap por la presencia del drenaje ácido de roca, que tiene una concentración elevada de metales pesados y un pH bajo, la misma que altera la calidad del agua afectando a la vegetación y los animales. Es por ello, que se motiva el desarrollo e implementación de técnicas de descontaminación del agua que puedan remover los metales de estos sistemas a niveles aceptables, inmovilizando los metales pesados presentes, el experimento a nivel piloto se realizó teniendo en consideración un punto (235657 E; 8947120 N), para el acopio de agua que se trasladó a la ubicación de los sistemas pilotos de fitorremediación anaeróbico en la ciudad de Huaraz (221495 E; 8948776N).



Figura 1. Punto de acopio de DAR del río Shallap (afluente): Se muestra la presencia de sedimentos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Palomino (2004) se refirió a la comunidad vegetal y microbiana en los siguientes términos.

La comunidad vegetal y microbiana presente en los humedales muestra un gran potencial de adaptación a condiciones adversas, como, por ejemplo, la contaminación por metales pesados (Smith & Todd, 2005). Esto contribuye a que el ecosistema del humedal pueda revertir tales condiciones a las de uno más estable mediante el secuestro y estabilización de metales, formación de substrato para la proliferación de la comunidad microbiana biorremediadora y recuperación significativa del escenario ambiental (Palomino, Macalady, Mack, Nelson, & Skaw, 2005).

Medina & Montano (2014) en su trabajo titulado “Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero alianza - Ancash” determino que la especie vegetativa *Juncus arcticus* Willd. acumuló la mayor concentración de Fe, As, Zn, Al, Pb y Cu en las raíces (>8000, >6000, >5000, 2400, 987 y 784 mg/kg) que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

Valles & Alarcón (2014) en su trabajo titulado “Retención de arsénico en humedales construidos con *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus*”, concluyo que:

“La separación de arsénico del agua con humedales construidos es un proceso tecnológico eficiente, sin embargo, es necesario enfatizar que la validez de operación del sistema variará en función del medio poroso, la planta, las características del agua y el sistema de operación con el que se trabaje”.

Actualmente los humedales artificiales son utilizados como sistemas la capacidad depuradora de los humedales naturales incentivó el desarrollo de los sistemas de depuración basados en humedales artificiales, que en Europa se remonta a los años “50” del siglo XX, y en Estados Unidos a la década de los “60” del mismo siglo. La denominación que se aplica a estos sistemas es la de “humedales artificiales”, en oposición a la denominación “humedales naturales”, en los que el hombre no ha influido en su construcción. En la lengua anglosajona los humedales artificiales se denominan “constructed wetlands”. Los humedales artificiales consisten normalmente en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrofitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. El efluente, normalmente después de recibir un pre-tratamiento, pasa a través del humedal durante el tiempo de retención. El efluente es tratado a través de varios procesos físico químico y bacteriológico (Fernández, 2010).

Jerez (2013) en su estudio titulado “Remoción de metales pesados en lixiviados mediante fitorremediación” indica que:

“La formación de especies como sulfuros (presentes principalmente en condiciones pobres de oxígeno), además de otros aniones altamente insolubles como los carbonatos, pueden causar la precipitación de metales como cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc”. (p.44)

Garro (2014) en su trabajo titulado “Eficiencia de un humedal artificial de tres celdas para el tratamiento de drenaje ácido de roca en el canal Chonta-Canrey Chico-Recuay-Huaraz-2014” realizó un sistema de biorremediación por el cual se implementaron tres sedimentadores de manera consecutiva, el agua que salga del último sedimentador alimentará a tres celdas en serie del humedal donde se llevará a cabo el proceso de biorremediación.

En la aplicación de la fitorremediación combinada se tuvo el éxito del proceso que fue confirmado además por dos pruebas de toxicidad, uno basado en mediciones de fluorescencia de clorofila en plantas de maíz y otro basado en cianobacterias,

utilizando un bioensayo de toxicidad bioluminiscente; ambas pruebas demostraron que los residuos fitorremediados eran significativamente menos tóxicos que los parámetros iniciales no fitorremediados (García, y otros, 2013).

Las plantas herbáceas y leñosas que acumulan metales pesados se emplean para la fitorremediación. Para desarrollar mejores estrategias para optimizar la eficiencia de la fitorremediación, se requiere el conocimiento de las respuestas microestructurales, fisiológicas y moleculares que subyacen a la acumulación de metales pesados. Los HM absorbidos por las células de la raíz pueden trasladarse a los vasos del xilema y descargarse en la savia del xilema, alcanzando así las partes aéreas de las plantas. Los metales pesados pueden quedar secuestrados en las paredes celulares, las vacuolas y los aparatos de Golgi. Las raíces de las plantas perciben inicialmente el estrés de metales pesados y desencadenan la transducción de señales, mediando así cambios a nivel molecular, fisiológico y microestructural. Varios genes que participaron en la absorción, el transporte, el secuestro y la desintoxicación de HM se caracterizaron funcionalmente y se transformaron en plantas objetivo para mejorar la eficiencia de la fitorremediación (Luo, He, Polle, & Rennenberg, 2016).

La movilización de metales pesados por parte del hombre a través de la extracción de minerales y su procesamiento para diferentes aplicaciones ha dado lugar a la liberación de estos elementos al medio ambiente. Dado que los metales pesados no son biodegradables, se acumulan en el medio ambiente y, posteriormente, contaminan la cadena alimentaria. Esta contaminación supone un riesgo para la salud ambiental y humana. Algunos metales pesados son cancerígenos, mutagénicos, teratogénicos y disruptores endocrinos, mientras que otros provocan cambios neurológicos y de comportamiento, especialmente en los niños. Por lo tanto, la remediación de la contaminación por metales pesados merece la debida atención (Ali, Khan, & Anwar-Sajad, 2013).

La fitorremediación muestra potencial para remediar sitios de relaves mineros contaminados con metales pesados. El objetivo de aislar, caracterizar y evaluar el potencial de las bacterias endófitas para mejorar el crecimiento y la acumulación de metales por el hiperacumulador *Alnus firma*. Una cepa bacteriana aislada de raíces de *Pinus sylvestris* tenía la capacidad de remover metales pesados de relaves

mineros y fue identificada como *Bacillus thuringiensis*GDB-1 basado en la secuenciación del ADN ribosomal 16S. GDB-1 exhibió rasgos que promueven el crecimiento de las plantas (Babu, Kim, & Oh, 2013).

2.2 Bases teóricas

2.1.1 Contaminación del agua por metales totales

La calidad de las aguas puede ser alterada como consecuencia de las actividades antropogénicas o naturales que producen efectos adversos que cambian su valor para el hombre y la biota. En forma general, puede definirse la contaminación del agua como la alteración desfavorable que sufre, al incorporársele una serie de sustancias que cambian sus condiciones naturales de calidad, ocasionando grandes riesgos para la salud y el bienestar de la población. Particularmente peligroso es la contaminación provocada por las altas concentraciones de algunos metales pesados y su incremento en los efectos adversos causados por la persistencia y el fenómeno de biomagnificación. De forma natural, los metales son introducidos a los sistemas acuáticos como resultado de la lixiviación de suelos, rocas y erupciones volcánicas (Laws, 1993, citado por Loarte & Sanabria, 2015). A lo largo de la historia producto de los procesos de exploración y explotación de minerales a cargo de empresas que no se ha responsabilizado por la protección del ambiente, se han dejado en abandono montículos de residuos mineros denominados pasivos ambientales, que a la fecha causan grandes daños significativos al agua, al suelo y demás recursos naturales entornos a los mismos (Rojas & Rengifo, 2020).

2.1.2 Biorremediación

Los métodos más efectivos y prometedores para remediar el suelo contaminado son la biorremediación y la fitorremediación. La biorremediación es el proceso/método que desintoxica los metales pesados con la ayuda de microorganismos en el medio ambiente. Proceso de fitorremediación que ayuda a absorber los metales pesados del suelo mediante el uso de plantas y árboles para remediar el suelo. Ambas técnicas son rentables y adecuadas para

eliminar los metales pesados del suelo contaminado (Praveen & Nagalakshmi, 2021).

Las prácticas de biorremediación consisten en el uso de microorganismos como plantas, hongos, bacterias naturales o modificadas genéticamente para neutralizar sustancias tóxicas, transformándolas en sustancias menos tóxicas o convirtiéndolas en inocuas para el ambiente y la salud humana (Ifeanyi & Yusuf, 2020).

La biorremediación puede clasificarse de acuerdo al organismo que efectúa la degradación del compuesto xenotóxico. La fitorremediación, es el uso de plantas para la remoción de contaminantes de suelo y aguas, es una técnica apropiada para la remoción de metales pesados y radionúcleos (Sorbo, Basile, & Pisani, 2012).

Así mismo, existen organismos que actúan como agentes descontaminantes, ya que pueden desarrollarse en medios con fuerte toxicidad y poseen en su interior microorganismos capaces de retener metales pesados, las bacterias son las más empleadas en el proceso de biorremediación, aunque también se han empleado otros microorganismos como hongos, algas, Cianobacterias y Actinomicetes para la degradación de compuestos tóxicos en el suelo (López & Quintero, 2012).

2.1.2.1 Fitorremediación

La fitorremediación es un proceso de biorremediación que emplea variedades de plantas para eliminar, transferir, mantener, extraer o degradar contaminantes en el suelo y las aguas superficiales y subterráneas (Theivanayagam, Gayathri, Ajeesh, Stanislaus, & Kyusik, 2019).

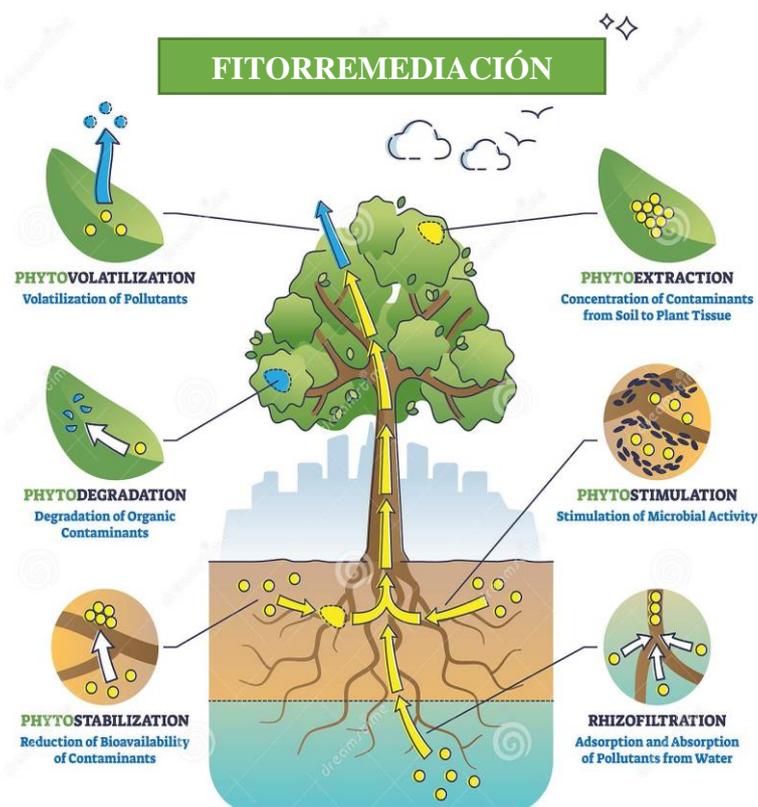


Figura 2. Procesos en la fitorremediación

Fuente: (Conceição, Hauser, Nunes de Souza, & Pierre, 2016)

La clasificación de la fitorremediación sobre la base de mecanismos: Existen diferentes tipos de mecanismos de fitorremediación que se utilizan para eliminar o degradar los contaminantes del suelo y el agua que se analizan a continuación:

Tabla 2: Clasificación de la fitorremediación sobre la base de mecanismos.

Mecanismos	Principales causas
Biodegradación de la rizosfera	La planta secreta sustancias naturales de sus raíces y estos son nutrientes necesarios para el crecimiento de microorganismos en el suelo..
Fitoestabilización	Los compuestos químicos secretados por la planta inmovilizan los contaminantes, en lugar de degradarlos.
Fitoacumulación (fitoextracción)	Captación/absorción y translocación de contaminantes por las raíces de las plantas a los

	brotos de las plantas, funciona para absorber los contaminantes junto con otros nutrientes y agua.
Rizofiltración	Se produce la adsorción o precipitación de contaminantes en las raíces de las plantas o la absorción y el secuestro en las raíces se conoce como rizofiltración.
Fitodegradación	se utilizan especies de plantas específicas para un contaminante particular sobre la base de la capacidad de degradación de las especies de plantas.

Fuente: (CW Tsang, Meers, Liang , & Kumuduni , 2018)

2.1.2.2 Metales en plantas y fitotoxicidad

Es importante determinar el nivel de riesgo ambiental de los metales pesados sobre diversos representantes del ecosistema terrestre utilizando bioensayos ecotoxicológicos, los ensayos de fitotoxicidad con semillas germinadas son simples, versátiles y útiles para evaluar la toxicidad de aguas, sedimentos y muestras de suelo. Algunas especies de plantas tienen ventajas sobre otros organismos biológicos, como, por ejemplo, el poder almacenarse en forma de semilla por un año o más; costos de mantenimiento mínimos; las muestras no requieren aireación; muestras con altas turbiedades no requieren filtración adicional y las pruebas se pueden llevar a cabo sin ajuste de pH (Lago, Arenas, Rodríguez, Andrade, & Vega, 2019).

La determinación de algunos aspectos de la ecotoxicidad de metales pesados empleando bioensayos sencillos y prácticos para catalogar toxicológicamente muestras ambientales contaminadas por Pb, Hg y Cr contribuye a tomar medidas para evaluar la perturbación de los ecosistemas y promover alternativas de biorremediación (Shanker, y otros, 2006).

2.1.3 Bacterias sulfatoreductoras

Los organismos sulfatorreductores (BSR) son organismos anaerobios obligados, metabólicamente versátiles provenientes de varias familias y diferentes géneros. Utilizan sulfato u otros compuestos oxidados de azufre como aceptor final de electrones (agente oxidante) para la producción de H₂S. Pueden crecer de forma heterotrófica usando moléculas orgánicas de bajo peso

molecular y de manera autotrófica usando hidrógeno y dióxido de carbono. Estos organismos son muy adaptables y pueden ser encontrados en numerosos ambientes terrestres y acuáticos en los que se ha agotado el oxígeno. Se encuentran principalmente en ambientes anaerobios o anóxicos ricos en sulfatos. Una forma de clasificarlos está basada en su capacidad para degradar la materia orgánica en forma parcial o total. De acuerdo a esta propiedad se dividen en dos grupos principales: 1) Oxidantes incompletos de sustrato, que generan acetato como producto final. Estos utilizan lactato, hidrógeno, piruvato, etanol y ciertos ácidos grasos como fuente de carbono y energía para reducir el sulfato a sulfuro. En condiciones ideales tienen una velocidad de crecimiento más rápida que los oxidantes completos y pueden lograr tiempos de duplicación de 3 a 4 horas, si son alimentadas con los sustratos que lo favorecen, como hidrógeno y lactato. El grupo está constituido por géneros como *Desulfovibrio*, *Desulfomonas*, *Desulfotomaculum*, *Desulfobulbus* y *Thermodesulfobacterium*. 2) Los oxidantes completos de sustrato a dióxido de carbono y sulfuro. Este grupo utiliza ácidos grasos, especialmente acetato. Tienen un crecimiento lento, frecuentemente con tiempos de duplicación mayores a 20 horas. El grupo está compuesto por *Desulfobacter*, *Desulfococcus*, *Desulfosarcina*, *Desulfonema* y *Desulfobacterium* (Alarcón & Valles, 2016).

Las BSR se pueden utilizar para la remediación in situ de sedimentos contaminados con metales pesados, y los procesos de remediación que ocurren a diferentes profundidades del perfil del sedimento son críticos para la aplicación práctica de BSR (Qing , Xiaomin , & Ying , 2017).

2.1.3.1 Metales en plantas y fitotoxicidad

Cuando las plantas están expuestas a altos contenidos de metales pesado, éstas pueden presentar problemas fisiológicos, tales como reducción del tamaño y vigor en su crecimiento (raíces y demás órganos), de tal manera que su comportamiento y desarrollo normal se ve afectado (Cargua, 2010; Truchado, 2014). Asimismo, los metales pesados en las plantas originan en ellas estrés oxidativo y daños a nivel estructural (Truchado, 2014).

2.1.4 Potencial de hidrogeno (pH)

Es uno de los principales factores que determina la movilidad de los metales pesado presentes en el medio (agua y suelo). La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, que son más móviles a pH alcalino (Galán & Romero, 2008).

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como pH-metro (/pe achímetro/ o /pe ache metro/), un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. La escala de pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más iones en la disolución) y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (cuando el disolvente es agua) (Van der Meeren, Yongjian , & Bifen , 2021).

2.1.5 Coloides organico-minerales (arcilla)

Muchas de las propiedades químicas del suelo se deben a la presencia de materiales que presentan carga eléctrica. Estos materiales son conocidos como “coloides del suelo” y abarcan a las partículas de arcilla y materia orgánica humificada. En los sistemas coloidales uno o más de sus componentes incluyen a partículas que tienen una dimensión entre 10^{-7} a 10^{-5} cm, es decir, contienen macromoléculas o pequeñas partículas. Cada coloide (arcilloso u orgánico) tiene carga negativa (-) que se desarrolla durante los procesos de formación. Esto significa que los coloides pueden atraer y retener partículas cargadas positivamente (+), de igual forma como los polos opuestos de un imán se atraen entre sí. Los coloides repelen a otras partículas cargadas negativamente, como también lo hacen los polos iguales de un imán.

Según la naturaleza de sus cargas los coloides se dividen en:

2.1.5.1 Electropositivos

o basoides que están cargados positivamente, un ejemplo son los llamados con frecuencia sesquióxidos de Hierro y Aluminio, que se

comportan como bases débiles que dispersan en medio ácido y flocculan en medio alcalino.

2.1.5.2 Electronegativos

o acidoides, están cargados negativamente, son los más abundantes en el suelo. Comprenden a las arcillas silicatadas, a los geles minerales complejos y finalmente a los ácidos húmicos. Tienen propiedades de ácidos débiles dispersos en medio alcalino, flocculan en medio ácido (Vasquez, 2016).

2.1.6 Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es una herramienta de gestión ambiental en el cual se establecen valores que nos permiten definir la contaminación del aire, agua o suelo de acuerdo a ciertos parámetros físicos, químicos o biológicos; estos niveles no representan un riesgo ambiental ni a la salud de las personas (LEY N° 28611: LEY GENERAL DEL AMBIENTE, 2005).

Se establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Tabla 3: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₂)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

Fuente: (MINAM, DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, 2017)

2.3 Definición de términos

- **Afluente:** Son las aguas sin tratamiento o crudas que proceden de una fuente natural o antropogénica que e ingresan a un sistema compuesto para su tratamiento (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011).
- **Bioacumulación:** Es la acumulación de determinadas sustancias químicas en tejidos de organismos vivos de manera directa o a través de la cadena alimenticia, alcanzando concentraciones mayores que en el ambiente al que está expuesto. Usualmente se refiere a la acumulación de metales, pero el concepto también aplica a las sustancias orgánicas persistentes, como los compuestos organoclorados (Luo, Qi, Gu, & Xie, 2016).
- **Contaminación y fitotoxicidad en plantas:** Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles, presentan toxicidad cuando se encuentran en concentraciones relativamente elevadas (Weng, Lexmond, Wolthoorn, & Temminghoff, 2004).

- **Drenaje ácido de roca:** El fenómeno de drenaje ácido proveniente de minerales sulfurosos es un proceso que ocurre en forma natural. Hace cientos de años, se descubrieron muchos yacimientos minerales por la presencia de agua de drenaje rojiza, indicando la presencia de minerales sulfurosos (Ministerio de Energía y Minas, 1997).
- **Especies bioacumuladoras:** Hay especies vegetales que toleran altas concentraciones de metales pesados, las absorben y acumulan en los tallos y las hojas, lo que las convierte en potenciales limpiadoras de las aguas con presencia de estos metales (Martos, Gallego, & Poschenrieder, 2016).
- **Inmovilización de metales:** Aislamiento o inmovilización del contaminante. Los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos físicos, químicos o biológicos (Volke & Velasco, 2002).
- **Metales pesados:** Estos elementos se encuentran naturalmente en las rocas y en los suelos, pero también muchos metales pesados son depositados a causa de la actividad humana. El grupo "metales pesados" generalmente incluye: arsénico, plomo, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, zinc; varios de estos elementos son necesarios para la salud humana, y son beneficiosos como alimentos o suplementos en niveles bajos. Por el contrario, el cadmio, el plomo y el mercurio son tóxicos para los seres humanos (Science Communication Unit, 2016).
- **Sedimentación:** La sedimentación es el proceso por el cual el material sólido, transportado por un flujo de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin (Karlsson, Scholes, & Revitt, 2010).
- **Sistema anaerobio:** Proviene de la ausencia de oxígeno libre en un medio establecido. Se define como anaerobios a los microorganismos que no necesitan oxígeno (O₂) para desarrollarse. Los microorganismos anaerobios pueden dividirse en: anaerobios forzosos, que mueren en presencia de oxígeno; anaerobios facultativos, que pueden usar el oxígeno si está presente; y los aerotolerantes, los cuales pueden vivir en presencia de

oxígeno, pero no hacen uso de él en forma alguna (Wiszniewska, Hanus, & Muszyńska, 2016).

- ***Juncus articus***: Pequeña hierba rizomatosa con vainas basales de color marron oscuro en la parte inferior y rojizas en la parte superior. Casi todos los tallos son fértiles y parecidos a las hojas. Las inflorescencias parecen laterales, ya que su bráctea la sobrepasa largamente; son compactas y contienen 1-8 flores. Los tépalos son ovados o lanceolados, de 3-4.5 mm, los externos más grandes que los internos. La cápsula es obtusa y brevemente mucronada, \pm tan larga como el perianto (Universidad de las Islas Baleares, 2015).
- ***Juncus bufonius***: Este es un junco de ciclo anual, por tanto, muy pequeño en comparación con los otros perennes, raramente alcanza más de un palmo de altura y a menudo crece menos de 10 cm. Los tallos y hojas tienen la base de color rojizo y a veces toda la planta adquiere este color. Las flores se encuentran en la mitad superior del tallo, en la subsp. *bufonius* aisladas y en la subsp. *insulanus* formando un pequeño fascículo (Universidad de las Islas Baleares, 2015).
- ***Calamagrostis ligulata***: Hierba rizomatosa con vainas alargadas de color blanco amarillento en la parte inferior y moradizas en la parte superior. Casi todos los tallos son fértiles y parecidos a las hojas con cortes en los nudos. Las inflorescencias parecen laterales, ya que su bráctea la sobrepasa parte del tallo (Bobadilla, Edel, Yupanqui, & Palomino, 2012).
- ***Calamagrostis ovata***: Este es una especie de ciclo anual, pequeño y frondoso en comparación con los otros perennes, raramente alcanza más de un palmo de altura y a menudo crece menos de 20 cm. Los tallos y hojas tienen la base de color verde y a veces toda la planta adquiere este color. Las flores son pomposas con algunos tallos únicos por floración anual (Berberis, 2012).
- ***Distichia sp.***: Planta perenne; crece formando almohadillas compactas, densas, convexas y muy duras en el suelo de la Puna. Hojas simples, pequeñas, de 3-7 mm de longitud, fuertemente comprimidas, oblongo-

lineales, con el ápice obtuso y calloso. Flores dispuestas en la parte apical del tallo, de 1-5 cm de longitud. Frutos globosos, muy pequeños (Reynel, 2012).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental. Asimismo, es aplicada porque se pretende dar solución al problema formulado para esta investigación, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico.

3.2 Diseño de investigación

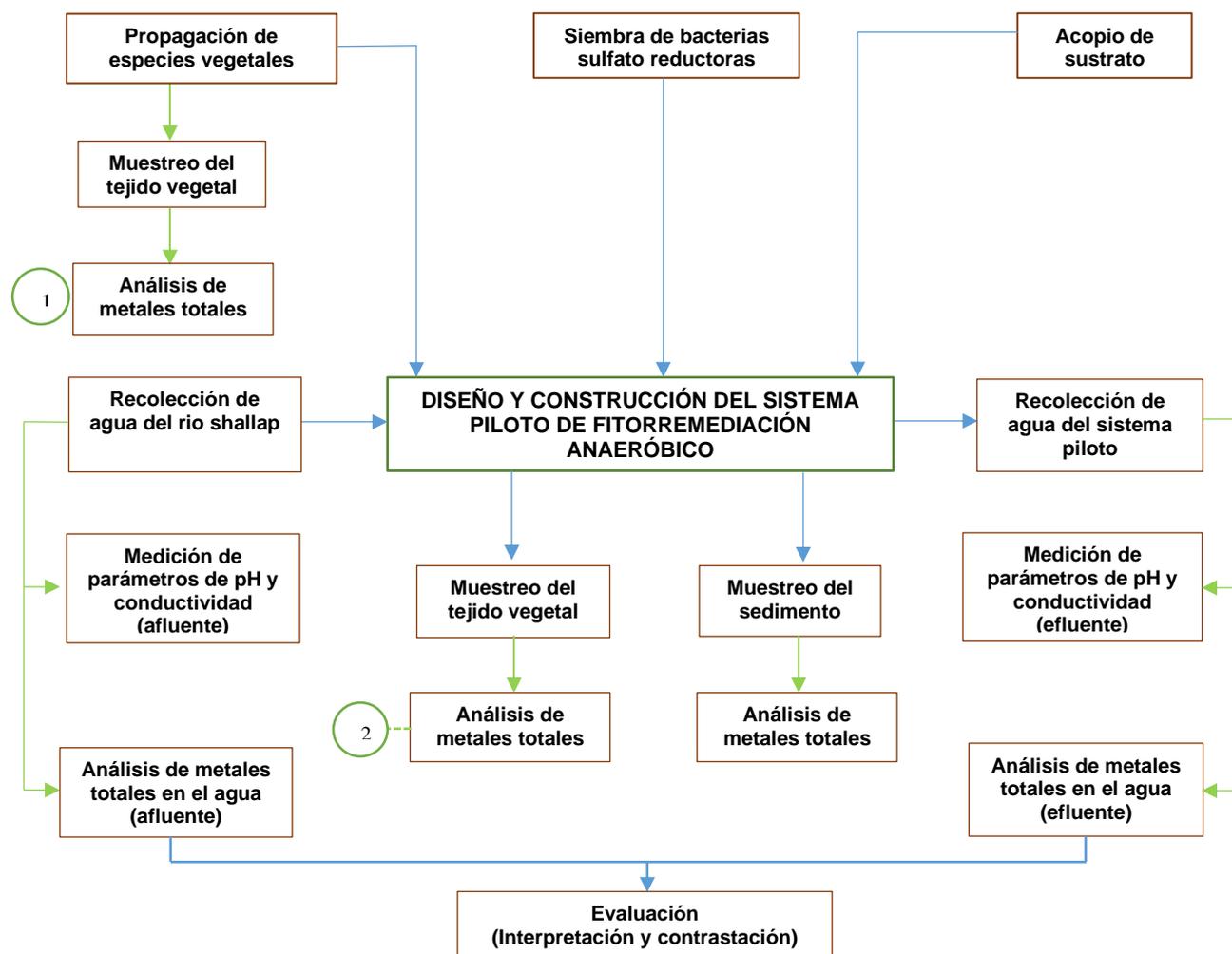


Figura 3. Esquema de investigación.

* Se realizó la comparación de los resultados de los análisis en las concentraciones de metales totales entre (1) y (2).

3.3 Caracterización del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico

3.3.1 Propagación de las especies vegetales.

En la propagación de las especies vegetales altoandinas que fueron extraídas de ambientes extremos con presencia de DAM (pH bajo y presencia de metales pesados en el agua), teniendo en cuenta las consideraciones técnicas para el manejo, recolección y traslado se llevaron hacia el invernadero. Las especies vegetales para el experimento proceden de las localidades de:

Tabla 4: Ubicación de los puntos de extracción de las especies vegetales para la propagación.

Localidad	Ubicación	Especie vegetal
Mesapata	(234270 E; 8917833 N)	<i>Juncus articus</i> <i>Juncus bufonius</i> <i>Distichia sp</i>
Huancapeti	(221548 E; 8920526 N)	<i>Calamagrostis ovata</i> <i>Calamagrostis ligulata</i>

En la recolección se utilizaron palas planas, picos y barretas, estratificando en varios puntos para no alterar el ecosistema presente en cada localidad, de este modo con la supervisión de un técnico se procedió a envolver y rotular cada especie vegetal teniendo en cuenta que deben de sufrir el menor estrés posible.

En el invernadero acondicionado, se manejó acorde a los parámetros técnicos la propagación de las especies vegetales en recipientes como bandejas, masetas, que les permitieron un mejor desarrollo y estabilización en ese medio, agregándoles nutrientes (turba) y agua para su recuperación.

3.3.2 Muestreo de tejido vegetal (antes de ser introducidas a los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico)

Al terminar el proceso de propagación, se tomaron las muestras de cada especie vegetativa: *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata*, *Distichia sp*, y de acuerdo al protocolo del laboratorio que realizo los análisis se procedió a:

En el Laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM de la UNASAM, se quitó el sustrato de la parte radicular con el mayor cuidado para no perder las raíces más pequeñas y frágiles, utilizando una piseta de laboratorio con agua destilada y pinzas, luego se introdujeron a un secador a una temperatura de 39° C durante un periodo de 12 horas sobre un papel periódico hermético para no perder las raíces que se desprenden al estar secas. Se realizó este procedimiento para cada especie vegetal con un rotulado específico para la cadena de custodia, todo este procedimiento con la supervisión de los especialistas del laboratorio.

Las muestras rotuladas fueron enviadas al laboratorio para el análisis de metales totales (EPA Method 200.3, Rev.1, April.1991. Metals, Total Recoverable in Biological Tissues / EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version 1994).

3.3.3 Siembra de las bacterias sulfatoreductoras

En la siembra de las bacterias sulfatoreductoras (BSR), de acuerdo a las consideraciones técnicas brindadas por el laboratorio de Calidad Ambiental De la FCAM de la UNASAM, se realizó una salida a campo a la localidad de Challhua (221847 E; 8944852 N), en donde se recolecto muestras de lodo y agua colonizadas en contenedores herméticos con tapa para no exponerlos al oxígeno del ambiente.

En el laboratorio, se preparó el medio de cultivo para la siembra de las bacterias:

Tabla 5: Composición del medio de cultivo **Postgate B** para las BSR

Compuesto	Cantidad
KH ₂ PO ₄	0.5g
NH ₄ Cl	1g
CaSO ₄	1g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	2g
Lactato de sodio	3.5g
Extracto de levadura	1g
FeSO ₄	0.5g
Ácido ascórbico	0.1g
Ácido tioglicólico	0.1g
Agua destilada	1 litro
pH	7-7.5

Fuente: (Murray, y otros, 1984).

Se prepararon 12 litros de medio de cultivo que fueron introducidos a recipientes transparentes de vidrio para evidenciar el desarrollo de la colonización de las BSR. Luego con la supervisión de los especialistas del laboratorio y con los protocolos que se tienen, se realizó la siembra de las poblaciones bacterianas.

Los envases herméticos sellados y rotulados se mantuvieron en la estufa a una temperatura de 27°C, evidenciando la colonización a los 45 días realizada la siembra, teniendo en consideración las indicaciones y recomendaciones de

los especialistas del laboratorio, que observaron espejos plateados en las paredes internas de los envases indicando la colonización de las BSR.

3.3.4 Acopio de sustratos

Los sustratos que se recolectaron para ser utilizados en la construcción de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico, fueron arena fina y grava de canto rodado, tomados de la localidad de Jangas (216800 E; 8960577N), y la turba fue traída del Centro de investigación y experimentación de Tuyu Ruri de la UNASAM (214677 E; 8968440 N).

3.3.5 Construcción del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico

De acuerdo al diseño elaborado se tuvo en consideración el manejo en dimensiones de 0.45m² (90 cm x 0.5m x 0.32m, de largo, ancho y alto) de material de pvc transparente, que nos permitió observar los estratos y la colonización de las BSR, además se colocó una llave de paso en la parte más baja que sirvió para muestrear el efluente del sistema.

Se instalaron los 03 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico, habiendo considerado niveles para cada estrato: arena fina 02 capas de 7cm, grava 01 capa de 5cm y turba 01 capa de 5cm), de tal modo que las especies vegetales y las BSR se adaptaron para la realización del experimento. Cada nivel conto con una altura de estrato diferente.

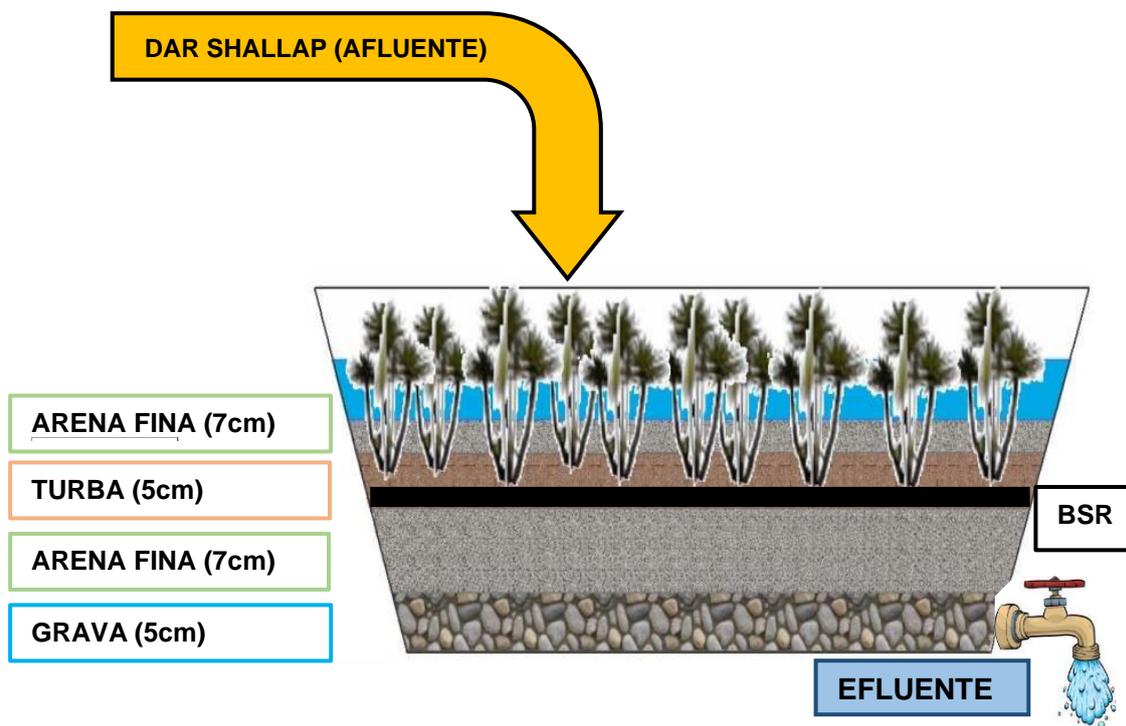


Figura 4. Sistema piloto de fitorremediación anaeróbico

Al momento que se introdujeron las colonias de BSR, se mantuvo el criterio de tener los estratos inferiores llenos de agua del DAR del río Shallap, así mismo se colocó el siguiente estrato hidratando del mismo modo para evitar la exposición de las BSR al oxígeno ambiental mínimamente.

Se introdujeron las especies vegetales teniendo en consideración una distribución equitativa y no saturada igual para los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico que se construyeron.

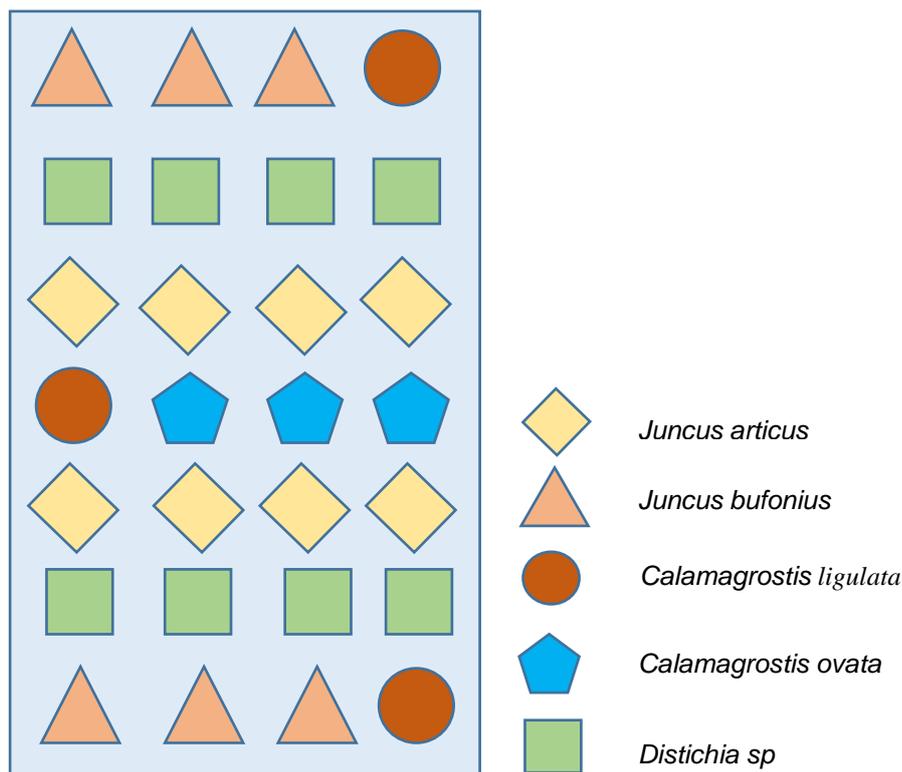


Figura 5. Distribución de las especies vegetales en los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbica.

3.3.6 Recolección de agua del río Shallap

Se realizaron salidas al campo a tempranas horas del día, a un punto específico en la zona del flujo del río Shallap a unos metros del canal de toma de agua (235657 E; 8947120 N); Se recolectó el agua en galoneras (contenedores de agua), las cuales eran conservadas y transportadas a la ubicación de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbica en la ciudad de Huaraz (221495 E; 8948776N).

El volumen de agua que se introdujo a los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbica es constante manteniendo una película de 2 cm en la parte aérea de las especies vegetales (el sistema posee un caño en la parte más baja donde mantiene una salida para el flujo y para la toma de muestras).

3.3.7 Medición de parámetros de pH y conductividad (afluente)

En el punto donde se realizó la recolección de agua del río Shallap se tomaron las muestras y las mediciones de los parámetros de pH y conductividad, con el uso de instrumentos y del multiparámetro del laboratorio

de Calidad Ambiental de la FCAM de acuerdo a los protocolos indicados por los especialistas.

Los análisis comparativos de importancia fueron dos, tanto en época seca y época de avenida, estos muestreos fueron realizados contando con los recursos humanos y técnicos de los especialistas del laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM de la UNASAM. (De acuerdo al método para el pH, APHA 4500-H+ B. versión-2012, y para la conductividad, APHA 2510 B- versión-2012).

Tabla 6: Clasificación del pH para el agua

Clasificación	pH
Ácido	0 a <7
Neutro	7
Alcalino	>7 a 14

Fuente: (Lashkarbolooki & Ayatollahi, 2018)

Tabla 7: Clasificación de la conductividad del agua

Clasificación	Cond. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
Bebida de animales (categoría 3, D2)	5000

Fuente: (MINAM, DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, 2017)

3.3.8 Análisis de metales totales en el agua del río Shallap (afluente)

En las salidas que se realizaron hacia el punto donde se llevaron a cabo las recolecciones de agua del río Shallap, se tomaron dos muestras en dos fechas específicas que fueron la época seca y época de avenida, realizando los procedimientos acordes a los protocolos indicados por especialistas del laboratorio que realizó los análisis, se tomaron muestras de 1 litro en recipientes brindados por el laboratorio y se rotularon para la cadena de custodia. Las muestras obtenidas nos permitieron observar y comparar el nivel de la concentración de metales totales que tiene el agua del río Shallap en esas dos épocas. (EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals

and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry. 1994).

3.3.9 Muestreo del tejido vegetal extraído de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico

Se procedió a la extracción de las especies vegetales del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico: *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp*, teniendo en consideración el protocolo del laboratorio que realizo el análisis. En el laboratorio de calidad ambiental de la FCAM de la UNASAM se procedió a quitar el sustrato de la parte radicular con el mayor cuidado posible, añadiendo constantemente agua destilada con la piseta y con las pinzas separando las raíces, esto para cada especie.

Luego se introdujo a un secador cada una de las especies vegetales, a una temperatura de 39° C durante un periodo de 12 horas sobre un papel periódico hermético para no perder las raíces que se desprenden al estar secas.

Las muestras fueron rotuladas para la cadena de custodia y fueron enviadas al laboratorio para el análisis de metales totales (de acuerdo al método: EPA Method 200.3, Rev.1, April.1991. Metals, Total Recoverable in Biological Tissues / EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version 1994.

3.3.10 Muestreo del sedimento

La recolección del sedimento de los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico, se realizó teniendo en consideración la parte técnica y criterios de extracción de material particulado:

- a) El sustrato que se introdujo en la parte baja está compuesto de grava, la cual se llegó adherir con los sedimentos, asimismo en la parte más baja de la estructura también se encontró gran parte de este sedimento.
- b) Con el uso de una brocha se realizó el raspado de la grava recolectando la mayor cantidad del material, de igual manera en la

estructura en la parte más baja se procedió con la recolección. De acuerdo al protocolo indicado por los especialistas del laboratorio se pasó por un tamiz n^o200, recolectando y rotulando las muestras para para la cadena de custodia (de acuerdo al método: EPA 3050-B (1996) / EPAMethod 200.7 Revision 4.4 (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils Revision 2 December 1996 / Determination of Metals and Trace Elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry).

3.3.11 Recolección de agua del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico

3.3.11.1 Análisis de metales totales en el agua (efluente)

En la ubicación de los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico, se realizó las recolecciones de las muestras de agua (3 muestras), con un volumen de 1 Litro en recipientes brindados por el laboratorio, todo el procedimiento fue realizado de acuerdo al protocolo establecido por los especialistas del laboratorio que realizo los análisis. Se tomaron 03 muestras, una de cada uno de los pilotos, cumpliendo los procedimientos del protocolo de toma de muestras brindada por el laboratorio que realizo el análisis (de acuerdo al método: EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry. 1994).

3.3.11.2 Medición de parámetros de pH y conductividad (efluente)

Con el uso de instrumentos y del multiparámetro del laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM de acuerdo a los protocolos indicados por los especialistas, se realizó la recolección de agua del efluente de los 3 sistemas piloto de fitorremediación, tomando las muestras y las mediciones de los parámetros de pH y conductividad. Estas mediciones se llevaron a cabo en distintas fechas, en donde estos muestreos fueron realizados contando con los recursos humanos y técnicos de los especialistas del laboratorio (de acuerdo al método para el pH, APHA

4500-H+ B. versión-2012, y para la conductividad, APHA 2510 B-versión-2012).

3.4 Población y muestra

3.4.1 Para la caracterización inicial de suelo.

- Población:

El DAR del río Shallap, para el agua; y, pastos altoandinos para las especies vegetales.

- Muestra

***Muestra de agua:** Se tomó una muestra de 3 m³ de agua del río Shallap para la instalación y monitoreo del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

***Muestra de especies vegetales:** las muestras vegetales recolectadas de Huancapeti son *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata*, y de Mesapata *Juncus articus* *Juncus bufonius*, y *Distichia sp*,

Tabla 8: Codificación de las muestras de DAR del río Shallap.

Código de la muestra	Descripción
SH-01	Muestra del DAR del río Shallap – época seca
SH-02	Muestra del DAR del río Shallap – época de avenida

Tabla 9: Codificación de las muestras de agua del efluente de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico.

Código de la muestra	Descripción
SH-P01	Muestra de agua del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 01
SH-P02	Muestra de agua del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 02
SH-P03	Muestra de agua del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 03

Tabla10: Codificación de las muestras de DAR del río Shallap para el pH y conductividad en época seca y época de avenida.

Código de la muestra	Descripción
SH-01	Muestra de pH del DAR del río Shallap – época seca
SH-01	Muestra de la conductividad del DAR del río Shallap – época seca
SH-02	Muestra de pH del DAR del río Shallap – época de avenida

Tabla 11: Codificación de las muestras del efluente de los sistemas de fitorremediación anaeróbico para el pH y conductividad.

Código de la muestra	Descripción
SH-P01	Muestra de pH del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 01
SH-P01	Muestra de la conductividad del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 01
SH-P02	Muestra de pH del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 02
SH-P02	Muestra de la conductividad del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 02
SH-P03	Muestra de pH del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 03
SH-P03	Muestra de la conductividad del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 03

Tabla 12: Codificación para muestras de tejido vegetal antes de después de ser introducidas a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.

Código de la muestra	Descripción
TV-A-01	Muestra tejido vegetal <i>Juncus articus</i> antes de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.
TV-A-02	Muestra tejido vegetal <i>Calamagrostis ligulata</i> antes de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.
TV-A-03	Muestra tejido vegetal <i>Distichia sp</i> antes de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.
TV-A-04	Muestra tejido vegetal <i>Juncus bufonius</i> antes de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.
TV-A-05	Muestra tejido vegetal <i>Calamagrostis ovata</i> antes de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.
TV-D-01	Muestra tejido vegetal <i>Juncus articus</i> después de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.
TV-D-02	Muestra tejido vegetal <i>Calamagrostis ligulata</i> después de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.
TV-D-03	Muestra tejido vegetal <i>Distichia sp</i> después de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.
TV-D-04	Muestra tejido vegetal <i>Juncus bufonius</i> después de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.
TV-D-05	Muestra tejido vegetal <i>Calamagrostis ovata</i> después de ser introducido a los sistemas de fitorremediación anaeróbico.

Tabla 13: Codificación de las muestras de sedimento de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico.

Código de la muestra	Descripción
Sed- P01	Muestra de sedimento del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 01
Sed - P02	Muestra de sedimento del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 02
Sed - P03	Muestra de sedimento del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico N° 03

3.5 Análisis estadístico de la información

El análisis estadístico se realizó utilizando el software IBM SPSS Statistics (Statistical product and service solutions) versión 26, en la cual, los datos se sometieron a pruebas para el test no paramétrico de rangos de Wilcoxon y el coeficiente de correlación de Pearson a un nivel de significancia teórica 0.05, para la contrastación de hipótesis.

- Ho:** El sistema piloto de fitorremediación anaeróbico no inmoviliza los metales pesados del DAR del rio Shallap.
- H1:** El sistema piloto de fitorremediación anaeróbico inmoviliza los metales pesados del DAR del rio Shallap.

- Ho:** No están relacionados como un sistema de secuestro de metales pesados los sedimentos y las especies vegetales.
- H1:** Están relacionados como un sistema de secuestro de metales pesados los sedimentos y las especies vegetales.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Propagación de las especies vegetales *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp* bajo condiciones de invernadero en Huaraz.

Se propagaron las especies vegetales en el invernadero:



Figura 6. Propagación de especies vegetales en el invernadero; (a) *Juncus articus*, (b) *Calamagrostis ligulata*, (c) *Juncus bufonius*, (d) *Calamagrostis ovata*, (e) *Distichia* sp.

Se instalaron las especies vegetales en los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico:



Figura 7. Estabilización de las especies vegetales en los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico (3 repeticiones).

4.2 Comparación del pH y conductividad entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

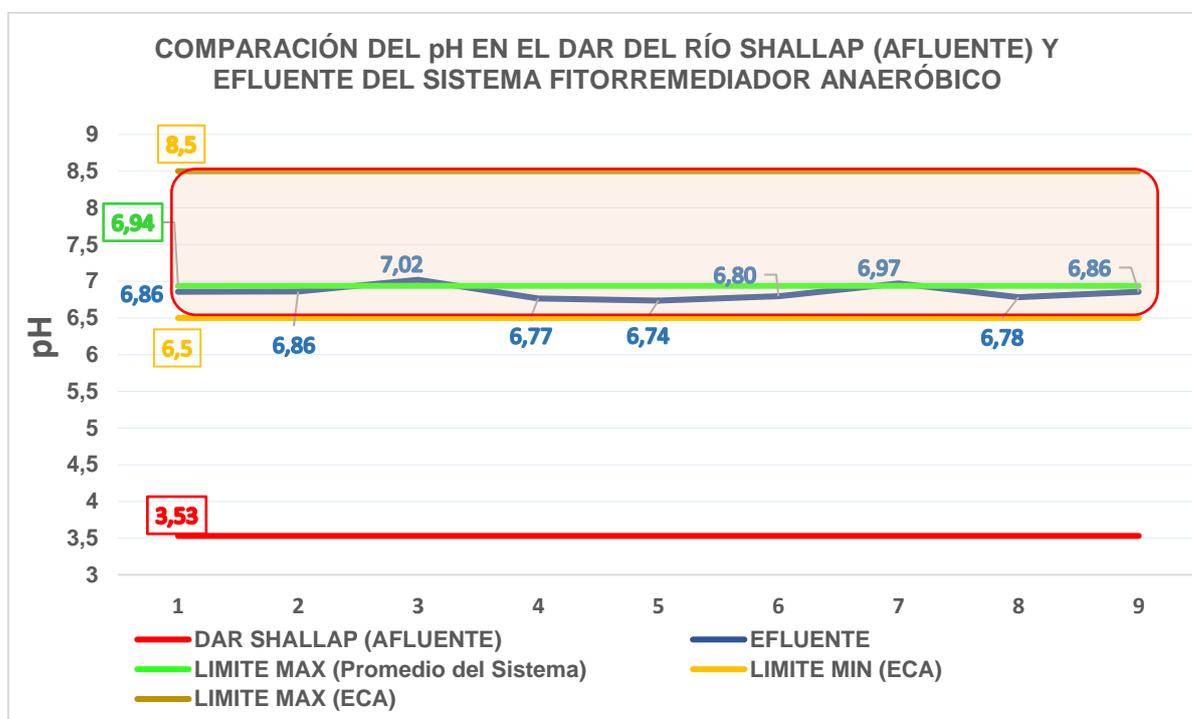


Figura 8. Comparación del pH en el DAR del río Shallap (afluente) y efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

La figura 8, muestra el pH del DAR del río Shallap (afluente) con un valor promedio de 3.53 y en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico los valores fluctúan entre 6.74 y 7.02, mostrando un incremento significativo que está dentro de los ECA para el agua en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (pH: 6.5 a 8.5) (MINAM, DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, 2017).

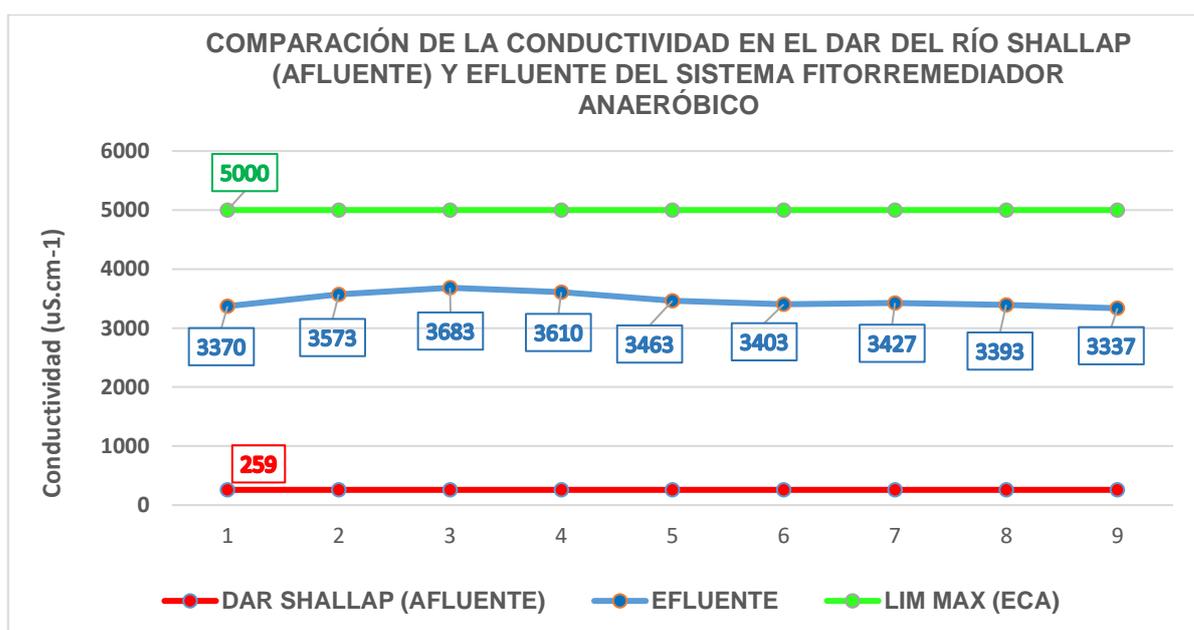


Figura 9. Comparación de la conductividad en el DAR del río Shallap (afluente) y efluente del sistema piloto fitorremediador anaeróbico.

La figura 9, muestra la conductividad del DAR del río Shallap (afluente) con un valor de 259 uS.cm⁻¹, y en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico los valores fluctúan entre 3337 y 3683 uS.cm⁻¹, mostrando un incremento que está dentro de los ECA para el agua en la Categoría 3: D2: Bebida de animales (5000 uS.cm⁻¹) (MINAM, DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, 2017). La probable explicación obedece a la presencia de electrolitos aportados por la materia orgánica (turba) del sistema fitorremediador anaeróbico.

4.3 Comparación de la concentración de metales en el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

Tabla 14: Comparación de la concentración de metales totales del DAR del río Shallap (afluente) con el efluente de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico.

Metales Totales	AFLUENTE			EFLUENTE			
	SH - 01	SH - 02	\bar{X}	SH-P01	SH-P02	SH-P03	\bar{X}
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Plata (Ag)	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Aluminio (Al)	3,91	3,35	3,63	0,0152	0,01	0,0103	0,0118
Arsénico (As)	<0,001	<0,001	<0,001	0,0013	<0,001	0,0013	0,0013
Boro (B)	0,003	0,008	0,0055	0,217	0,171	0,177	0,1883
Bario (Ba)	<0,002	0,007	0,007	0,062	0,052	0,0497	0,0546
Berilio (Be)	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Calcio (Ca)	8,66	7,94	8,3	>400	>400	>400	>400
Cadmio (Cd)	0,0014	0,0006	0,001	<0,0004	0,0021	0,0013	0,0017
Cerio (Ce)	0,022	0,019	0,0205	0,002	0,002	0,002	0,0020
Cobalto (Co)	0,0303	0,0261	0,0282	0,003	0,0013	0,0026	0,0023
Cromo (Cr)	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Cobre (Cu)	0,0023	0,0046	0,00345	0,0038	0,0053	0,0039	0,0043
Hierro (Fe)	1,434	1,156	1,295	0,316	0,012	0,238	0,1887
Mercurio (Hg)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Potasio (K)	0,7	0,61	0,655	10,81	12,98	10,29	11,3600
Litio (Li)	0,008	0,009	0,0085	0,114	0,108	0,096	0,1060
Magnesio (Mg)	5,08	4,62	4,85	>100	76,6	94,47	85,5350
Manganeso (Mn)	0,8031	0,6645	0,7338	3,0912	1,7292	2,6393	2,4866
Molibdeno (Mo)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sodio (Na)	2,52	2,05	2,285	84,64	31,79	27,44	47,9567
Níquel (Ni)	0,0434	0,0382	0,0408	0,0142	0,0155	0,0143	0,0147
Fósforo (P)	<0,003	<0,003	<0,003	0,026	0,021	0,026	0,0243
Plomo (Pb)	0,0035	0,0031	0,0033	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Antimonio (Sb)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Selenio (Se)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Sílice (SiO ₂)	5,16	4,77	4,965	10,87	12,95	12,63	12,1500
Estaño (Sn)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Estroncio (Sr)	0,032	0,032	0,032	3124	2900	2882	2968,666
Titanio (Ti)	0,0023	0,0026	0,00245	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Talio (Tl)	<0,003	<0,003	<0,003	0,0032	<0,003	<0,003	0,0032
Vanadio (V)	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Zinc (Zn)	0,426	0,354	0,39	0,076	0,141	0,214	0,1437

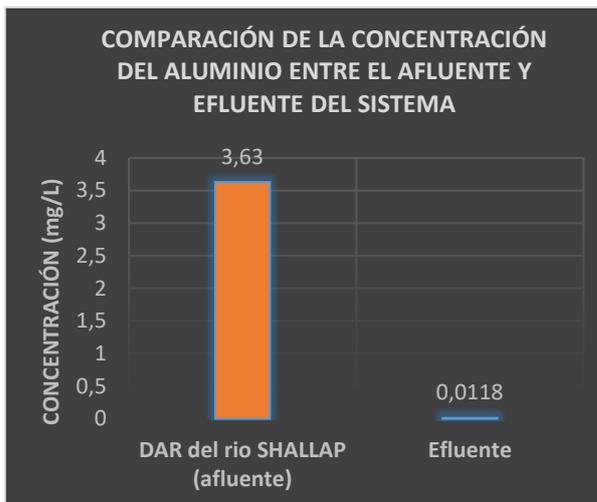


Figura 10. Comparación de las concentraciones del aluminio entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

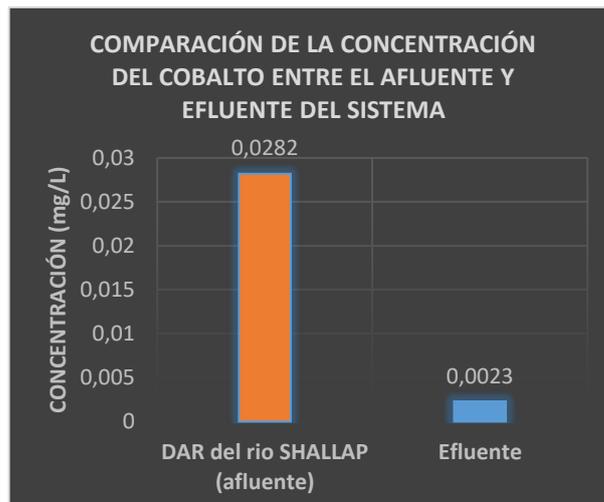


Figura 12. Comparación de las concentraciones del cobalto entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

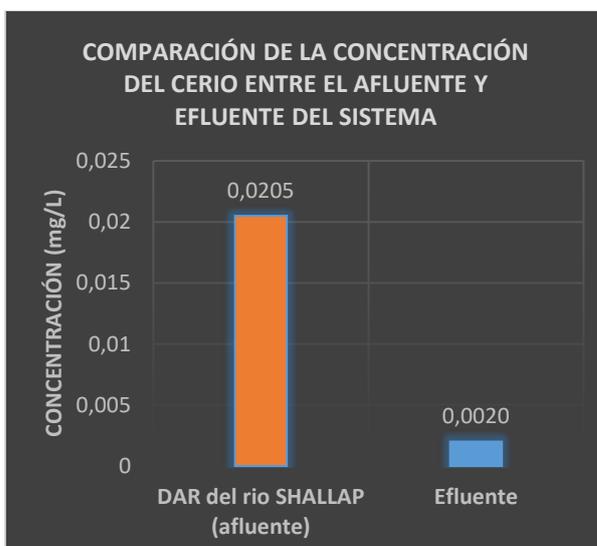


Figura 11. Comparación de las concentraciones del cerio entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

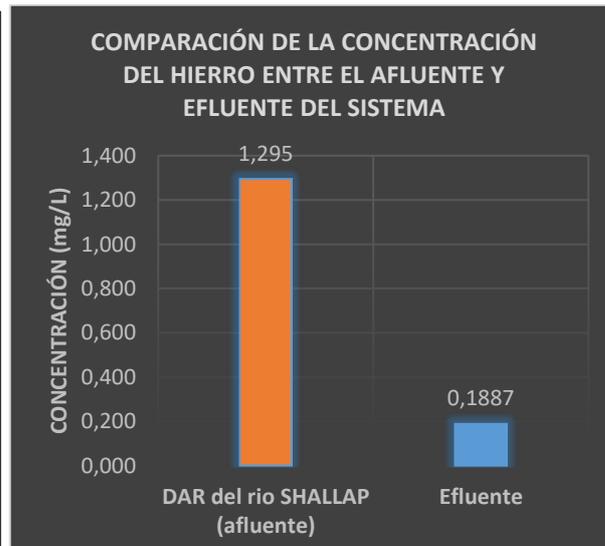


Figura 13. Comparación de las concentraciones del hierro entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

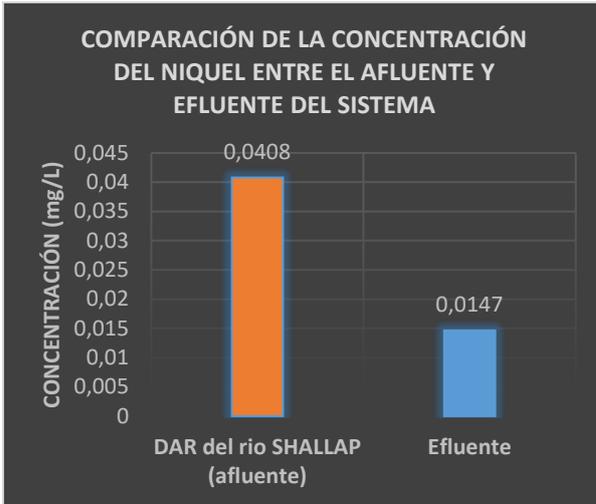


Figura 14. Comparación de las concentraciones del níquel entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

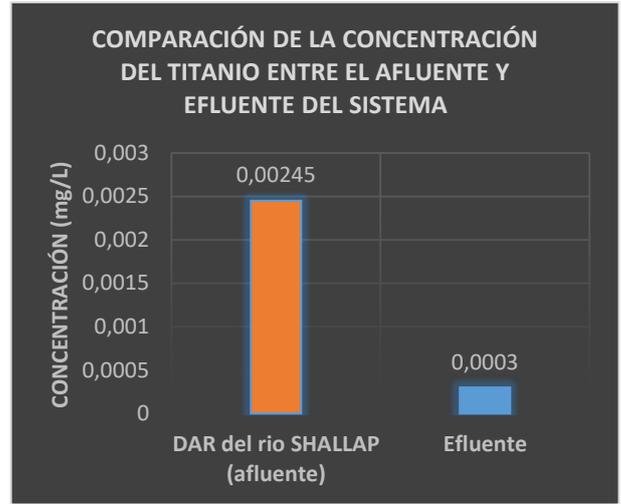


Figura 16. Comparación de las concentraciones del titanio entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

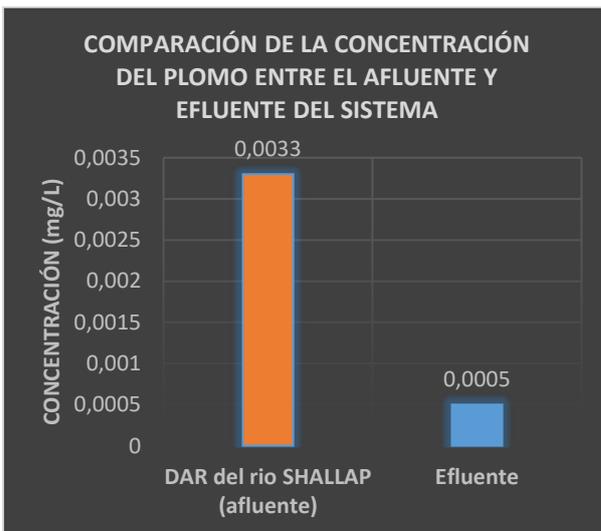


Figura 15. Comparación de las concentraciones del plomo entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

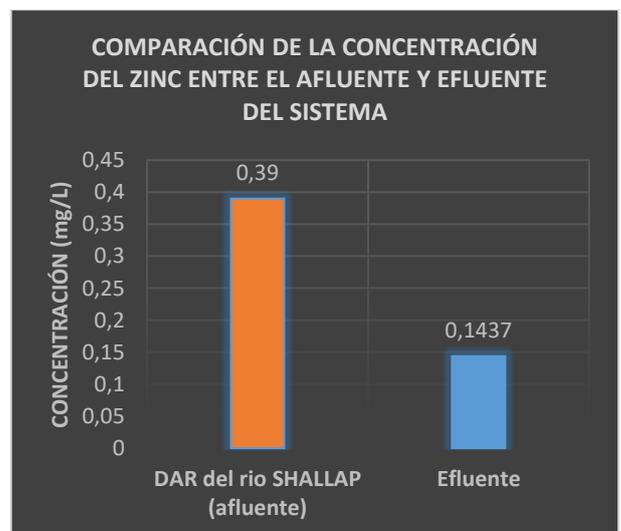


Figura 17. Comparación de las concentraciones del zinc entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

En las Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17, gráficamente se muestra la variación significativa de los valores de cada metal pesado del DAR del río Shallap (afluente) y en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

Tabla 15: Eficiencia del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico para la inmovilización de metales pesados del DAR del río Shallap.

Metal (Mg/L)	DAR del río SHALLAP (afluente)	Efluente	EFICIENCIA
Aluminio	3,63	0,01	99,67%
Cerio	0,02	0,0020	90,24%
Cobalto	0,03	0,0023	91,84%
Hierro	1,30	0,19	85,43%
Níquel	0,04	0,01	64,05%
Plomo	0,003	0,0005	84,85%
Titanio	0,0025	0,0003	87,76%
Zinc	0,39	0,14	63,16%

En la Tabla 15, se muestran los valores calculados de la eficiencia del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico para la inmovilización de metales pesados, siendo más eficiente para la inmovilización de aluminio con 99.67%, cobalto con 91.84%, cerio con 90.24%, titanio con 87.76%, hierro con 85.43%, plomo con 84.85%, níquel con 64.05% y zinc con 63.16%.

4.4 Comparación de las concentraciones de metales pesados de las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

Tabla 16: Comparación de la concentración de metales pesados en los tejidos vegetales antes (A) y después (D) de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

	<i>Juncus articus</i>			<i>Calamagrostis ligulata</i>		
	TV-A-01	TV-D-01	DIFERENCIA Después/antes	TV-A-02	TV-D-02	DIFERENCIA Después/antes
Aluminio (Al)	160,3	86,7	-73,6	401,7	648,9	247,2
Cobalto (Co)	0,61	0,74	0,13	1,63	4,91	3,28
Hierro (Fe)	959,1	346,2	-612,9	1483	1310,3	-172,7
Níquel (Ni)	0,55	0,62	0,07	1,32	5	3,68
Plomo (Pb)	1,82	1,6	-0,22	11,27	21,92	10,65
Zinc (Zn)	45,3	132,1	86,8	184,6	154,1	-30,5

	<i>Distichia sp</i>			<i>Juncus bufonius</i>		
	TV-A-03	TV-D-03	DIFERENCIA Después/antes	TV-A-04	TV-D-04	DIFERENCIA Después/antes
Aluminio (Al)	18,8	702,3	683,5	117,8	288	170,2
Cobalto (Co)	0,22	6,43	6,21	0,91	1,94	1,03
Hierro (Fe)	1113	2000	887	527,4	583,5	56,1
Níquel (Ni)	0,37	5,87	5,5	0,73	2,32	1,59
Plomo (Pb)	2,57	6,12	3,55	3,46	3,34	-0,12
Zinc (Zn)	51,9	226,3	174,4	116,6	110,4	-6,2

	<i>Calamagrostis ovata</i>		
	TV-A-05	TV-D-05	DIFERENCIA Después/antes
Aluminio (Al)	225,1	1337,3	1112,2
Cobalto (Co)	2,1	11,44	9,34
Hierro (Fe)	1342	4573,9	3231,9
Níquel (Ni)	1,15	7,28	6,13
Plomo (Pb)	3,72	16,89	13,17
Zinc (Zn)	86,8	263,1	176,3

En la Tabla 16, se evidencia que *Juncus articus* acumula más zinc (86.8 mg/Kg), *Calamagrostis ligulata* aluminio (247.2 mg/Kg) y plomo (10.65 mg/Kg), *Distichia sp* aluminio (683.5 mg/Kg), cobalto (6.21 mg/Kg), hierro (887 mg/Kg), níquel (5.5 mg/Kg), plomo (3.55 mg/Kg) y zinc (174.4 mg/Kg), *Juncus bufonius* aluminio (170.2 mg/Kg), hierro (56.1 mg/Kg), *Calamagrostis ovata* aluminio

(1112.2 mg/Kg), cobalto (9.34 mg/Kg), hierro (3231.9 mg/Kg), níquel (6.13 mg/Kg), plomo (13.17 mg/Kg), zinc (176.3 mg/Kg).

Destacando que *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp* son las que acumulan todos los metales pesados en magnitudes de:

**Calamagrostis ovata*: 5 veces más para el aluminio, 5 veces más para el cobalto, 3 veces más para el hierro, 6 veces más para el níquel, 4 veces más para el plomo y 3 veces más para el zinc.

**Distichia sp*: 37 veces más para el aluminio, 29 veces más para el cobalto, casi 2 veces más para el hierro, 15 veces más para el níquel, 2 veces más para el plomo y 4 veces más para el zinc.

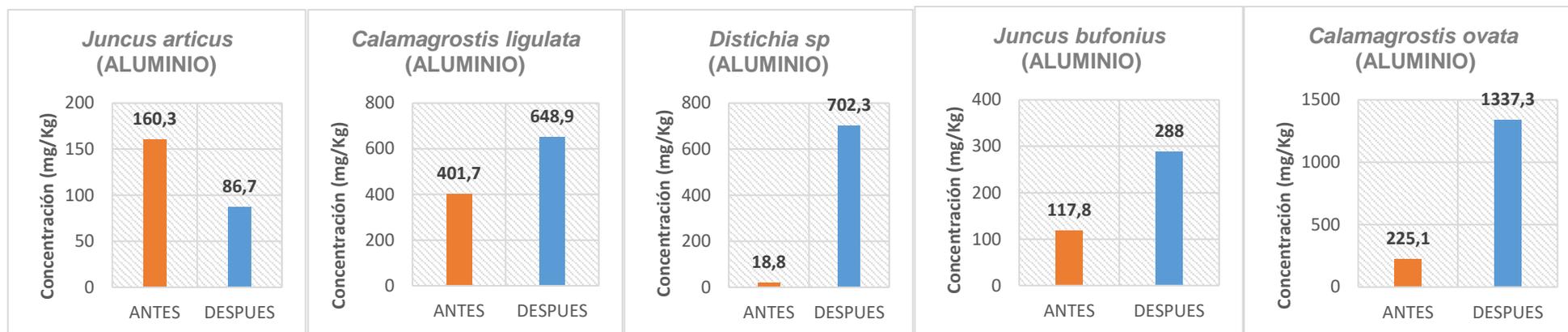


Figura 18. Comparación de la acumulación de aluminio entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

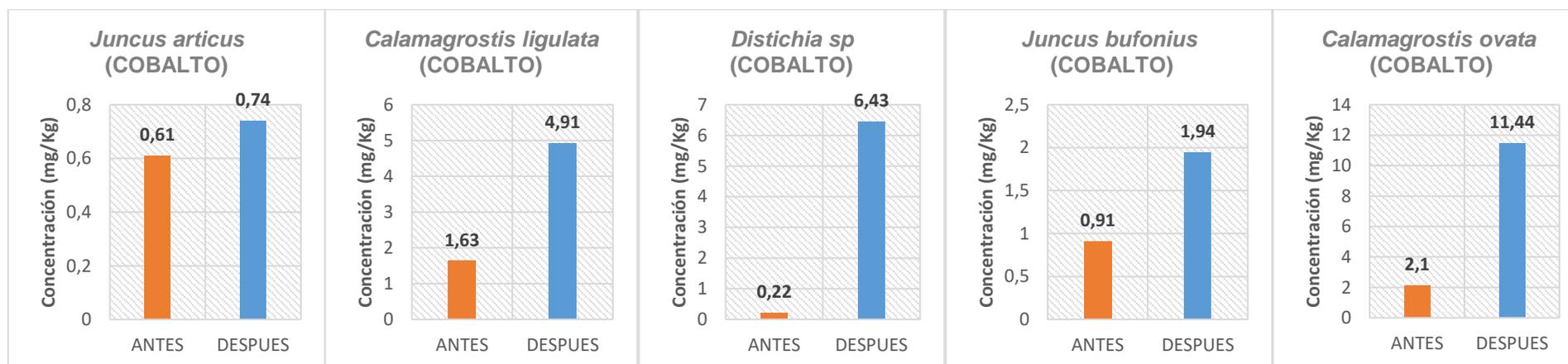


Figura 19. Comparación de la acumulación de cobalto entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

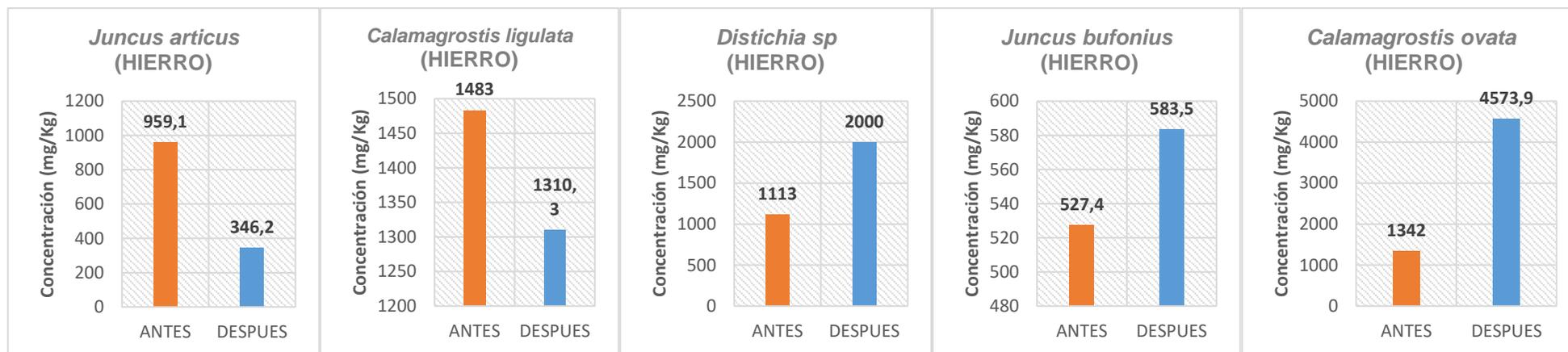


Figura 20. Comparación de la acumulación de hierro entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

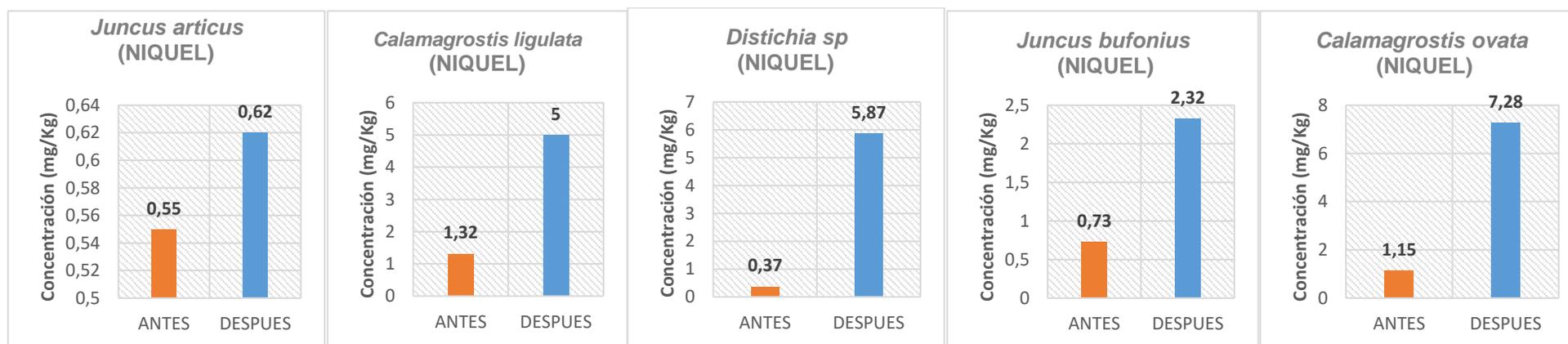


Figura 21. Comparación de la acumulación de níquel entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

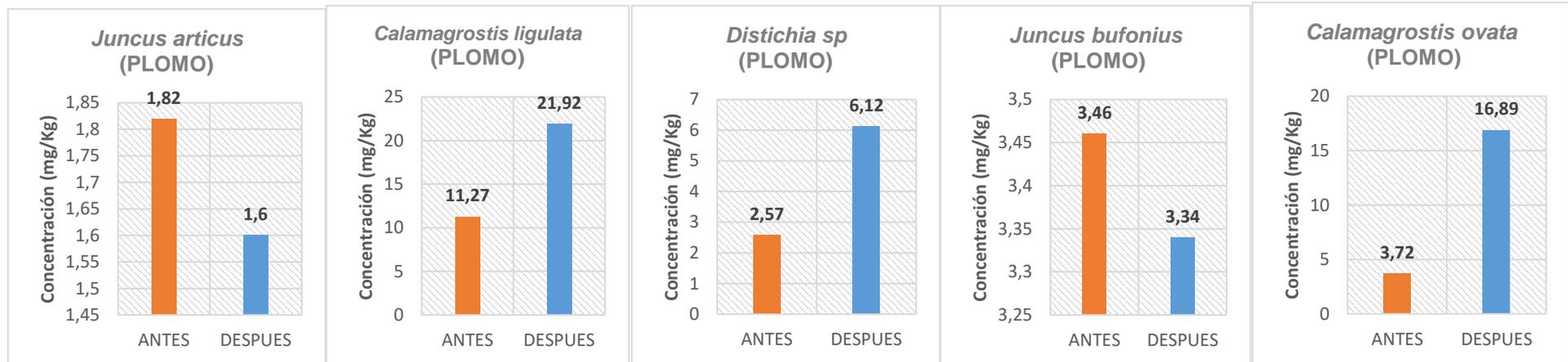


Figura 22. Comparación de la acumulación de plomo entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbica.



Figura 23. Comparación de la acumulación de zinc entre las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbica.

En las figuras 18, 19, 20, 21, 22 y 23, se muestran las comparaciones de las acumulaciones de metales pesados: aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc en cada especie vegetal: *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichis sp*, antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

4.5 Comparación de la concentración de metales pesados entre los sedimentos y las especies vegetales.

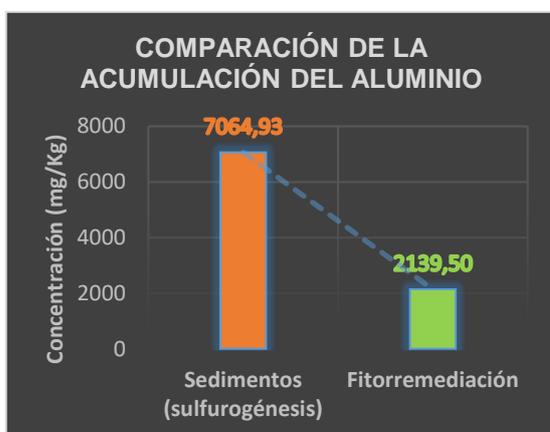


Figura 24. Comparación de la acumulación del aluminio entre el sedimento y las especies vegetales.

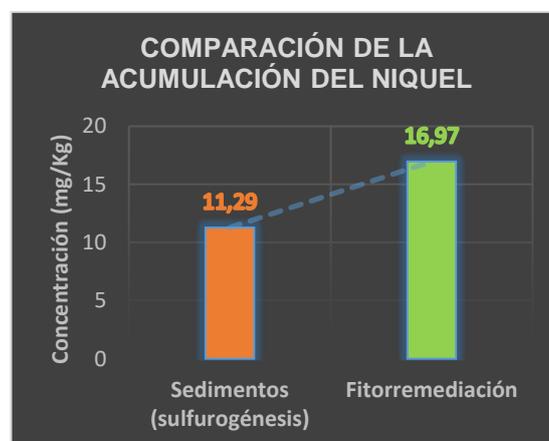


Figura 26. Comparación de la acumulación níquel entre el sedimento y las especies vegetales.

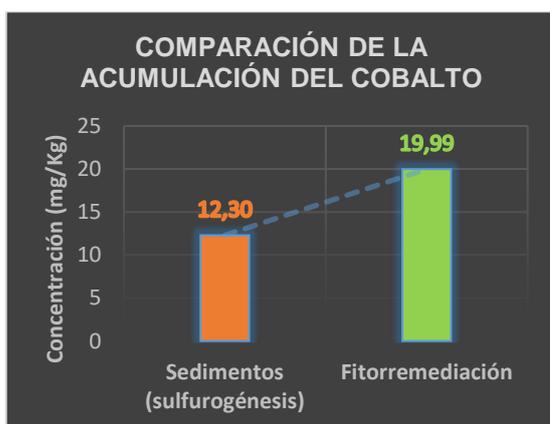


Figura 25. Comparación de la acumulación del cobalto entre el sedimento y las especies vegetales.

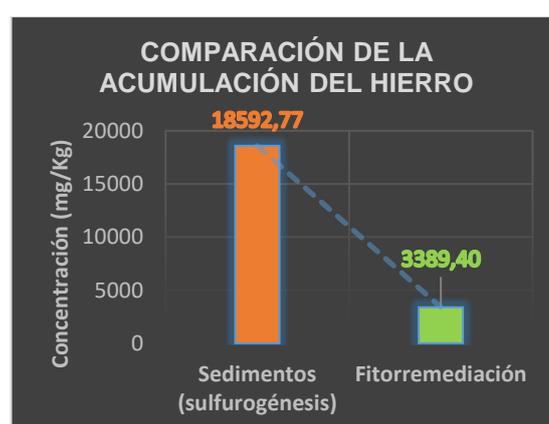


Figura 27. Comparación de la acumulación del hierro entre el sedimento y las especies vegetales.

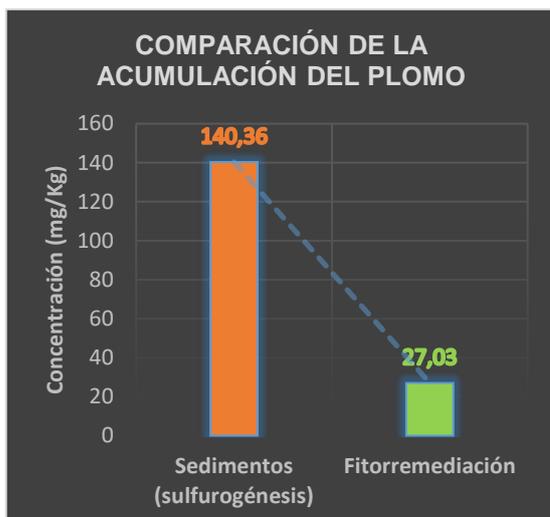


Figura 28. Comparación de la acumulación del plomo entre el sedimento y las especies vegetales.

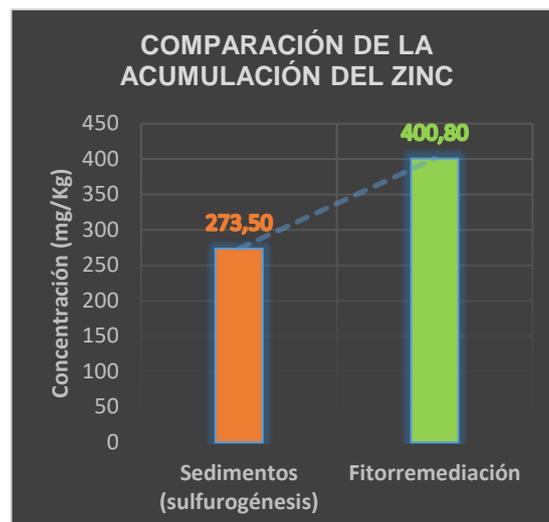


Figura 29. Comparación de la acumulación del zinc entre el sedimento y las especies vegetales.

En las Figuras 24, 25, 26, 27, 28 y 29, se muestra la comparación de la acumulación de los metales pesados: aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc, entre el sedimento y en las especies vegetales (fitorremediación). Se evidencia variaciones significativas respecto a las concentraciones que se tiene en cada parte del sistema, corroborando que funciona de manera óptima para la inmovilización de metales pesados del DAR del río Shallap.

4.6 Comparación del destino de metales pesados entre el sedimento y las especies vegetales.

Tabla 17: Destino mayoritario de metales pesados en el sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

PARAMETROS	ACUMULACIÓN (mg/Kg)			
	Sedimentos	Fitorremediación	D-Sed	D-EV
Aluminio (Al)	7064,9	2139,5	76,8%	23,2%
Cobalto (Co)	12,3	19,99	38,1%	61,9%
Hierro (Fe)	18592,8	3389,4	84,6%	15,4%
Níquel (Ni)	11,3	16,97	39,9%	60,1%
Plomo (Pb)	140,4	27,03	83,9%	16,2%
Zinc (Zn)	273,5	400,8	40,6%	59,4%

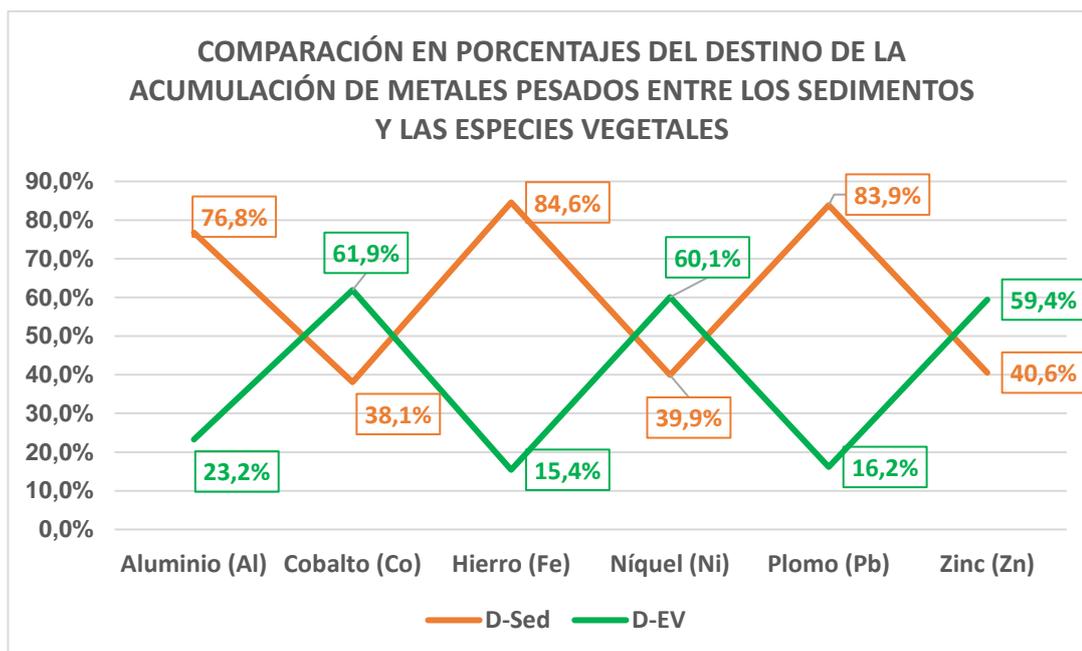


Figura 30. Comparación del destino de la acumulación de metales pesados entre la sedimentación y la fitorremediación.

En la Tabla 17 y figura 30, se muestra el destino de los metales pesados: aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc, en el sedimento y en las especies vegetales. Se evidencia variaciones fluctuantes respecto a las acumulaciones que se tiene en cada parte del sistema para cada metal, en el caso de la acumulación del aluminio es un 76.8% en el sedimento y un 23.2% por las especies vegetales, para el cobalto es un 38.1% en el sedimento y un 61.9% por las especies vegetales, para el hierro es un 84.6% en el sedimento y 15.4% por las especies vegetales, para el níquel es un 39.9% en el sedimento y un 60.1% por las especies vegetales, para el plomo es un 83.9% en el sedimento y 16.2% por las especies vegetales y para el zinc es un 40.6% en el sedimento y 59.4% por las especies vegetales.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Propagación de las especies vegetales *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp* bajo condiciones de invernadero en Huaraz.

Siguiendo las recomendaciones de Siura (2016), para manejo de plantas en condiciones de invernadero, donde el conjunto de instalaciones proveen las condiciones ambientales apropiadas para la selección, producción y propagación en espacios relativamente pequeños, se implementó un invernadero controlado con humedad relativa promedio de 60% y temperatura promedio de 20°C, a 3100 msnm, logramos la propagación y producción exitosa de *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp*,

5.2 Comparación del pH y conductividad entre el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

En las muestras analizadas del pH del DAR del río Shallap (afluente) tuvieron un valor promedio de 3.53, y en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico los valores fluctúan entre 6.74 y 7.02, mostrando un incremento significativo el cual está dentro de los ECA para el agua en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (pH: 6.5 a 8.5). (MINAM, DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, 2017). El incremento significativo del pH en un poco más de 3 unidades logarítmicas significa que el sistema fitorremediador anaeróbico cumple con llevar el pH a valores

esperados; además, al incrementarse el pH, algunos metales llegan a precipitar y formar parte del sedimento; como lo manifiesta Luo, He, Polle, & Rennenberg (2016), de esta manera se inmovilizan los metales sedimentales, permitiendo que el flujo del efluente contiene menor cantidad de contaminantes.

La conductividad del DAR del río Shallap (afluente) tuvo un valor de 259 uS.cm^{-1} , y en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico los valores fluctúan entre 3337 y 3683 uS.cm^{-1} , el cual está dentro de los ECA para el agua en la Categoría 3: D2: Bebida de animales (5000 uS.cm^{-1}) (MINAM, DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, 2017). En relación al incremento de este parámetro de conductividad, se da porque en el sistema fitorremediador anaeróbico hay presencia de materia orgánica (turba); Así lo manifiesta Wiszniewska, Hanus, & Muszyńska (2016), mencionando que el incremento de la conductividad en medios de flujos de agua superficial se da por el alto contenido de la materia orgánica, y presencia de algunos iones en este medio.

5.3 Comparación de la concentración de metales en el DAR del río Shallap (afluente) y el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

En las muestras iniciales del DAR del río Shallap SH-01 y SH-02 (afluente), se observó concentraciones con valores elevados para los metales pesados: aluminio, cerio, cobalto, hierro, níquel, plomo, titanio y zinc; y en los efluentes de los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico instalados se evidencian variaciones significativas disminuyendo la concentración de estos metales pesados. El sistema fitorremediador anaeróbico es eficiente y llega a inmovilizar los metales presentes en el DAR del río Shallap, lo cual es beneficioso, ya que mejora la calidad del agua; esto se ve relacionado a lo que detalla Garro (2014), en cuanto al comportamiento del hierro se tiene que entra con 8 mg/L y sale con 4.6 mg/L de los sedimentadores, y a la salida del humedal su concentración es 2.7 mg/L , el plomo entra con 0.283 mg/L a los sedimentadores, y sale con 0.261 mg/L , y a la salida del humedal su

concentración es 0.143 mg/L, evidenciándose la capacidad remediadora del sistema.

En las Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17, gráficamente se muestra la variación significativa de los valores de cada metal pesado (Al, Ce, Co, Fe, Ni, Pb, Ti y Zn) del DAR del río Shallap (afluente) y en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico, esta comparación nos permite evidenciar que el tratamiento que se aplicó es eficiente mostrando una reducción en las concentraciones de los metales pesados indicados, lo cual es beneficioso, ya que mejora la calidad del agua; como alega Ali, Khan, & Anwar-Sajad (2013), dado que la contaminación de aguas por metales pesados tóxicos es un problema ambiental grave, se necesitan métodos de remediación efectivos y los métodos biológicos (fitorremediación) son eficientes para la limpieza y restauración de aguas contaminadas con metales pesados que tienen serias limitaciones como el alto costo, cambios irreversibles en las propiedades del agua, destrucción de la microflora nativa del agua y suelo, asimismo la aplicación de esta tecnología es una mejor solución al problema de presencia de concentraciones elevadas de metales pesados.

En los valores calculados se muestra una eficiencia significativa en la inmovilización de metales pesados en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico. Los valores que tienen un mayor porcentaje de eficiencia para la inmovilización de metales pesados son el aluminio con 99.67%, el cobalto con 91.84%, el cerio con 90.24%, el titanio con 87.76%, el hierro con 85.43%, el plomo con 84.85%, el níquel con 64.05% y el zinc con 63.16%; esto se confirma en lo detallado por Parra (2017), el sistema de tratamiento *Chrysopogon zizanioides* tuvo ligeramente una mayor eficiencia que el sistema de tratamiento *Eichhornia crassipes* aunque este obtuvo en etapas tempranas remociones de hasta 100 % en Fe y Ni, posiblemente por ser considerados nutrientes para la planta, los valores obtenidos del *Chrysopogon zizanioides* fueron más constantes entre 75 al 90 % Fe y Ni, en consecuencia se infiere que el sistema con *Chrysopogon zizanioides* tiene una ligera ventaja sobre el *Eichhornia crassipes*, debido a que entre sus muchas ventajas, no es considerada una plaga y sus usos van más allá del

tratamiento de aguas residuales contaminadas; así mismo indica Jerez (2013), existen diferencias significativas entre los parámetros fisicoquímicos de los sitios sin y con influencia del DAR, siendo la aplicación de mecanismos alternativos para contribuir a su mejora en la calidad, aplicando sistemas de humedales que permitan tener una eficiencia sustancial y contribuyendo de algún modo a los ecosistemas presentes en estos entornos; y bien lo confirma Volke & Velasco (2002), en su estudio demostró que, al inicio de la experimentación (construcción de sistema fitorremediador), cada componente utilizado para ensamblar el sistema de fitorremediación permite mejorar la eficiencia en el secuestro del contaminante.

5.4 Comparación de las concentraciones de las especies vegetales antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

La concentración de metales pesados aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc, en las especies vegetales: *Juncus articus*, *Calamagrostis ligulata*, *Distichia sp*, *Juncus bufonius* y *Calamagrostis ovata*, antes y después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico muestran variaciones significativas, evidenciando que hay mayores valores en las muestras después de ser introducidas al sistema fitorremediador anaeróbico. La acumulación de metales pesados llegó a tener un comportamiento particular con cada especie vegetal y también se puede indicar que existe una sinergia entre todas las especies para que se complementen en el trabajo de bioacumulación de metales pesados como se describe en las figuras 18, 19, 20, 21, 22 y 23. Así lo indica Basile, Sorbo, Pisani, Paoli, & Munzi (2012), la remediación de agua y suelos contaminados con metales pesados por parte de las comunidades vegetales es una de las mejores opciones efectivas para reducir los efectos negativos sobre la salud del ecosistema, por lo tanto, en este artículo se corrobora que existen especies que tienen y cumplen la función de acumular y hasta hiperacumular algunos metales tóxicos de tal manera que es necesario revisar el estado actual, los desafíos y las oportunidades en la fitorremediación para remediar metales pesados de aguas y suelos contaminados.

5.5 Comparación de la concentración de metales pesados entre los sedimentos y las especies vegetales.

La concentración de los metales pesados: aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc, en el sedimento y en las especies vegetales muestran acumulaciones con variaciones significativas respecto a cada parte del sistema fitorremediador anaeróbico, teniendo una mayor concentración en el sedimento, pero se infiere que funciona de manera óptima al complementarse para la inmovilización del DAR del río Shallap; esto lo indica Beltrán & Gómez (2016), cuando recomienda utilizar plantas combinadas con algunos microorganismos en asociación sinérgica o simbiótica, para aumentar la eficiencia de la extracción de contaminantes, por su parte los microorganismos aumentan la disponibilidad de nutrientes y compuestos contaminantes, mientras que las plantas aprovechan los nutrientes disponibles e inmovilizan los contaminantes por extracción y secuestro de tales sustancias tóxicas.

5.6 Comparación del destino de metales pesados entre el sedimento y las especies vegetales.

En la comparación del destino de los metales pesados: aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc, entre el sedimento y en las especies vegetales, se evidencia variaciones fluctuantes respecto a las acumulaciones que se tiene en cada parte del sistema, en el caso de la acumulación del aluminio es un 76.8% en el sedimento y un 23.2% por las especies vegetales, para el cobalto es un 38.1% en el sedimento y un 61.9% por las especies vegetales, para el hierro es un 84.6% en el sedimento y 15.4% por las especies vegetales, para el níquel es un 39.9% en el sedimento y un 60.1% por las especies vegetales, para el plomo es un 83.9% en el sedimento y 16.2% por las especies vegetales y para el zinc es un 40.6% en el sedimento y 59.4% por las especies vegetales. Como bien lo afirmaron y mencionan Conceição, Hauser, Nunes de Souza, & Pierre (2016), es necesario dar oportunidades al manejo de flujos de recursos hídricos contaminados por

drenaje ácido de roca y drenaje ácido de mina con el uso de plantas, ya que hay especies que cumplen un rol de secuestro de metales y forman parte de este ecosistema contribuyendo a la mejora de su calidad, de esta manera dejaremos de utilizar medios fisicoquímicos como el uso de cal viva para intentar remediar la presencia de estos metales, así mismo el uso complementario entre la parte biológica y la parte fisicoquímica también es una alternativa que nunca debe ser descartada, se tendrían muy buenos resultados.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- El sistema piloto de fitorremediación anaeróbico del DAR del río Shallap, permite inmovilizar metales con una eficiencia superior al 60% (aluminio 99.7%, cobalto 91.8%, cerio 90.2%, titanio 87.8%, hierro 85.4%, plomo 84.8%, níquel 64,1% y zinc 63.2%), a través de procesos sinérgicos entre las especies vegetales, comunidad microbiana de la rizósfera BSR.
- El sistema piloto de fitorremediación anaeróbico del DAR del río Shallap, permite recuperar el pH de 3.53 (afluente) a un valor promedio de 6.85 en el efluente; valor que está dentro del rango de los ECA para el agua - Categoría 3.

Con relación a la conductividad se tiene un valor inicial de 259 uS.cm⁻¹ (afluente) y un valor de 3473 uS.cm⁻¹ (efluente); valor que está dentro del rango de los ECA- Categoría 3, D2: bebida de animales.

- Se logró propagar eficientemente, a nivel de condiciones de invernadero, las especies vegetales fitorremediadoras: *Juncus articus*, *Juncus bufonius*, *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y la *Distichia sp.*
- La especie vegetal *Juncus articus* en el sistema piloto de fitorremediación anaeróbico bioacumula más los metales níquel y zinc.

La especie vegetal *Calamagrostis ligulata* en el sistema piloto de fitorremediación anaeróbico bioacumula más los metales aluminio, cobalto, níquel y plomo.

La especie vegetal *Distichia sp* en el sistema piloto de fitorremediación anaeróbica bioacumula más los metales aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc.

La especie vegetal *Juncus bufonius* en el sistema piloto de fitorremediación anaeróbica bioacumula más los metales aluminio, cobalto, hierro y níquel.

La especie vegetal *Calamagrostis ovata* en el sistema piloto de fitorremediación anaeróbica bioacumula más los metales aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc.

- Las especies *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp* son las mejores bioacumuladoras y tienen un mejor comportamiento fitorremediando el aluminio.

La especie *Calamagrostis ovata* es la mejor bioacumuladora y tiene un mejor comportamiento fitorremediando el cobalto.

Las especies *Calamagrostis ovata* y la *Distichia sp* son las mejores bioacumuladoras y tiene un mejor comportamiento fitorremediando el hierro.

Las especies *Calamagrostis ligulata*, *Calamagrostis ovata* y *Distichia sp* son las mejores bioacumuladoras y tienen un mejor comportamiento fitorremediando el metal pesado níquel.

Las especies *Calamagrostis ligulata* y *Calamagrostis ovata* son las mejores bioacumuladoras y tienen un mejor comportamiento fitorremediando el metal pesado plomo.

Las especies *Juncus articus* y la *Distichia sp* son las mejores bioacumuladoras y tienen un mejor comportamiento fitorremediando el metal pesado zinc.

- El sedimento secuestra los metales en mayores proporciones que las especies vegetales mismas; para el aluminio 77%, para el cobalto 38%, para el hierro 85%, para el níquel 40%, para el plomo 84%, y para el zinc 41%. Los procesos que explican este fenómeno son la sulfurogénesis (BSR), exudados de la raíz, y actividad microbiana en la rizósfera de las especies vegetales.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de cultivos mixtos ya que tienen un mejor comportamiento en comparación a los monocultivos, debido a que la sinergia que hay en la parte de complementación de secuestro de metales pesados es importante.
- Se recomienda este sistema piloto de fitorremediación anaeróbico, porque se concentra la mayor cantidad de metales pesados en el sedimento, y que puede ser dispuesto cada cierto tiempo en un lugar salvaguardando la integridad del agua.
- El trabajo de investigación fue realizado a nivel piloto, se recomienda su implementación en campo por la alta eficiencia demostrada.
- Se debe explorar la diversidad de plantas existentes para complementar a las especies vegetales que han sido introducidas al sistema fitorremediador en la eficiencia que se tiene en la inmovilización de metales pesados.
- Se recomienda profundizar el estudio puesto que la investigación nos muestra que la eficiencia en la inmovilización de metales pesados es superior al 60% (Al 99.7%, Co 91.8%, Ce 90.2%, Ti 87.8%, Fe 85.4%, Pb 84.8%, Ni 64,1% y Zn 63.2%), elevando el pH de 3.53 a 6.85.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, M., & Valles, M. (2016). Retención de arsénico en humedales construidos con *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus*. *ScienceDirect*, Pg. 8.
- Ali, H., Khan, E., & Anwar-Sajad, M. (2013). Fitorremediación de metales pesados: Conceptos y aplicaciones. *ScienceDirect*, P. 3.
- Babu, A., Kim, J., & Oh, B. (2013). Mejora de la fitorremediación de metales pesados por *Alnus firma* con *Bacillus thuringiensis* GDB-1 endófito. *ScienceDirect*, P. 4.
- Basile, A., Sorbo, S., Pisani, T., Paoli, L., & Munzi, S. (2012). Bioacumulación y efectos ultraestructurales de Cd, Cu, Pb y Zn en el musgo *Scorpiurum circinatum* (Brid.) Fleisch. & Loeske. *ScienceDirect*, Pg.12.
- Berberis, M. (2012). *Herbario Virtual Astral Americano*. Taxanomis .
- BIORREMEDIACIÓN DE METALES PESADOS CADMIO (Cd), CROMO (Cr) Y MERCURIO (Hg) . (2016, Julio 25). *MECANISMOS BIOQUÍMICOS E INGENIERÍA GENÉTICA: UNA REVISIÓN*. Granada, España: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Bobadilla, M., Edel, A., Yupanqui, E., & Palomino, E. (2012). Un enfoque de fitorremediación usando *Calamagrostis ligulata* y *Juncus imbricatus* en humedales andinos del Perú. *NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE*, P. 324.
- Conceição, M., Hauser, R., Nunes de Souza, A., & Pierre, A. (2016). Fitorremediación de metales: estrategias generales, plantas modificadas genéticamente y aplicaciones en la contaminación por nanopartículas metálicas. *ScienceDirect*, P. 3.
- CW-Tsang, D., Meers, E., Liang, S., & Kumuduni, N. (2018). Modelado de fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados mediante aprendizaje automático. *ScienceDirect*, p. 7.
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *SCIELO*, P. 2.
- Fernández, J. (2010). Humedales Artificiales para la Depuración. Manual de Fitodepuración.
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por metales pesados. *Sociedad Española de Mineralogía Review*, p. 48.
- García, J., Grijalbo, L., Ramos, B., Fernández, F., Rodea, I., & Gutierrez, F. (2013). Fitorremediación combinada de fluidos metalúrgicos con plantas de maíz

- inoculadas con diferentes microorganismos y evaluación de la toxicidad de los residuos fitorremediados. *ScienceDirect*, P. 2.
- Garro, V. (2014). Eficiencia de un humedal artificial de tres celdas para el tratamiento de drenaje ácido de roca en el canal Chonta - Canray Chico Recuay - Huaraz 2014. Huaraz, Ancash, PERÚ.
- Ifeanyi, M., & Yusuf, M. (2020). Biorremediación de drenaje ácido de mina – Revisión. *ScienceDirect*, p. 16.
- INAP. (2012, JUNIO 9). *INAP*. Retrieved from INAP: <http://www.gardguide.com/index.php?title=Resumen>
- Jerez, J. (2013). Remoción de metales pesados en lixiviados mediante fitorremediación. Costa Rica.
- Karlsson, K., Scholes, L., & Revitt, M. (2010). Concentraciones de metales pesados y toxicidad en agua y sedimentos de estanques de aguas pluviales y tanques de sedimentación. *ScienceDirect*, P. 6.
- Lago, M., Arenas, D., Rodríguez, A., Andrade, M., & Vega, F. (2019). Capacidad de *Cytisus scoparius* para la fitorremediación de suelos de una mina de Pb/Zn: Evaluación de biodisponibilidad y bioacumulación de metales. *ScienceDirect*, P. 3-4.
- Lashkarbolooki, M., & Ayatollahi, S. (2018). Los efectos del pH, la acidez, los asfaltenos y la fracción de resina en la tensión interfacial petróleo crudo/agua. *ScienceDirect*, P. 2.
- LEY N° 28611: Ley general del ambiente. (2005). Pub. L. No. Ley N°28611, Artículo 31°. Lima, PERÚ.
- Loarte, A., & Sanabria, V. (2015). *Tesis Efecto del pH y tipo de adsorbente en la remoción de Manganeso de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros*. Huancayo.
- Loayza Muro, R. (2014). *Drenaje Ácido Natural y de Metales en Cabeceras de Cuencas Altoandinas*. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- López, J., & Quintero, G. (2012). *NOVA*. Retrieved from NOVA: <http://unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/60/119>
- Luo, J., Qi, S., Gu, S., & Xie, X. (2016). Evaluación del efecto fitorremediador y riesgo ambiental en procesos de remediación bajo diferentes sistemas de cultivo. *ScienceDirect*, P. 3.
- Luo, Z., He, J., Polle, A., & Rennenberg, H. (2016). Acumulación de metales pesados y transducción de señales en plantas herbáceas y leñosas: allanando el camino para mejorar la eficiencia de la fitorremediación. *ScienceDirect*, P. 1-2.

- Martos, S., Gallego, B., & Poschenrieder, C. (2016). Especies hiperacumuladoras de metales presentes en el Pirineo catalán oriental. *BARCELONA INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN*, P. 6.
- Medina, K., & Montano, Y. (2014, Setiembre). DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE METALES PESADOS EN EL *Juncus arcticus* Willd. Y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, DE ÁREAS CONTAMINADAS CON EL PASIVO AMBIENTAL MINERO ALIANZA - ANCASH 2013. Huaraz, Huaraz, PERÚ.
- MINAM. (2017, Junio 07). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM*. Lima, Lima, PERÚ.
- MINAM. (2017). *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM*. Lima.
- Murray, R., Brenner, D., Bryant, M., Holt, G., Krieg, R., Moulder, W., . . . Staley, J. (1984). *BERGEY'S MANUAL OF Systematic Bacteriology*. U.S.A.: Planning: Lorraine Wrozek.
- Palomino Cadenas, E. J., Paredes, M., & Villanueva, A. (2004). BIORREMEDIACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA (DAM), MEDIANTE EL SISTEMA DE HUMEDALES. *Centro de Acción Social Técnica y de Capacitación "CASTIC"*, Pg. 11.
- Palomino, E., Macalady, J., Mack, E., Nelson, D., & Skaw, K. (2005). Biorremediación de DAM mediante sistema de humedales. LIMA, LIMA, PERÚ.
- Parra Gallegos, F. (2017, Noviembre). Rizofiltración de aguas de riego agrícola contaminados por metales pesados en comunidades del municipio de Atlixco, Puebla. Puebla, México.
- Praveen, R., & Nagalakshmi, R. (2021). Revisión sobre técnicas de biorremediación y fitorremediación de metales pesados en suelo contaminado de vertedero. *ScienceDirect*, p. 2.
- Qing, Z., Xiaomin, L., & Ying, W. (2017). Biorremediación a largo plazo de sedimentos contaminados con cadmio utilizando bacterias sulfatoreductoras: Perspectiva sobre diferentes profundidades del perfil del sedimento. *ScienceDirect*, p. 1.
- Reynel, C. (2012). *GUÍA DE IDENTIFICACIÓN DE LAS PLANTAS COMUNES DEL DERECHO DE VÍA DEL DUCTO DE PERU LNG*. Lima: Melchorita Perú LNG.
- Rojas, L., & Rengifo, R. (2020). *Potenciales efectos en la salud de las comunidades situadas en la subcuenca de Quillcay tras exposición a metales pesados (As, Cd, Pb) originados por drenaje ácido de rocas producto del retroceso glaciar - Áncash (Perú)*. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA.

- Shanker, K., Mishra, S., Srivastava, S., Srivastava, R., Dass, S., Prakash, S., & Srivastava, M. (2006). Study of mercury-selenium (Hg-Se) interactions and their impact on Hg uptake by the radish (*Raphanus sativus*) plant. *Food Chemistry Toxicology. ScienceDirect*, P. 34.
- Sheoran, A., Sheoran, V., & Choudhary, R. (2010). Bioremediation of acid-rock drainage by sulphate-reducing prokaryotes: A review. *ScienceDirect*, Pg. 3-4.
- Siura, S. (2015, Diciembre). PROPAGACIÓN DE PLANTAS. *Propagación asexual*. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Smith, J., & Todd, P. (2005). Un marco para determinar el impacto de la participación en la cadena de valor en la eficiencia de las pequeñas explotaciones agrícolas. *ScienceDirect*, Pg 06-07.
- Sorbo, S., Basile, A., & Pisani, T. (2012). Bioaccumulation and ultrastructural effects of Cd, Cu, Pb and Zn in the moss *Scorpiurum circinatum* (Brid.) Fleisch. & Loeske. *ScienceDirect*, Pg. 4.
- Theivanayagam, M., Gayathri, C., Ajeesh, K., Stanislaus, A., & Kyusik, Y. (2019). El papel de los transportadores de metales en la fitorremediación: una mirada más cercana a *Arabidopsis*. *ScienceDirect*, p. 5.
- Universidad de las Islas Baleares. (2015). *Herbario Virtual del Mediterráneo Occidental*. Mallorca: Área de Botánica, Departamento de Biología.
- Valles, M., & Alarcón, M. (2014, Mayo). *Scielo*. Retrieved from Scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000200002
- Van der Meeren, P., Yongjian, C., & Bifen, C. (2021). Efecto del pH en las interacciones proteína okara-carboximetilcelulosa en solución acuosa y en la interfase aceite-agua. *ScienceDirect*, p. 2.
- Vasquez, V. (2016). *COLOIDES ORGÁNICO-MINERALES DEL SUELO Y SU IMPORTANCIA*. México: Oaxaca edición.
- Volke, T., & Velasco, J. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. México DF: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Vymazal, J. (2008). Constructed Wetlands, Surface Flow. *ScienceDirect*, Pg. 1-2.
- Weng, L., Lexmond, T., Wolthoorn, A., & Temminghoff, A. (2004). Phytotoxicity and bioavailability of nickel: chemical speciation and bioaccumulation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, P. 37-38.
- Wiszniewska, A., Hanus, E., & Muszyńska, E. (2016). Enmiendas orgánicas naturales para mejorar la fitorremediación de suelos contaminados: una revisión del progreso reciente. *ScienceDirect*, P. 7.

ANEXOS

ANEXO 1

Mapa de ubicación del punto de muestreo y recolección de agua para el sistema fitorremediador anaeróbico



Figura 31. Ubicación del punto de muestreo y recolección de agua para el sistema de fitorremediación anaeróbico.

ANEXO 2

Informes de ensayo del laboratorio



Ensayo, método y unidades de análisis para los metales totales para agua superficial para el muestreo de SH-01.



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Registro N°LE - 047

**INFORME DE ENSAYO N° 114432 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

RAZÓN SOCIAL : THE MOUNTAIN INSTITUTE
DOMICILIO LEGAL : P.J RICARDO PALMA NRO. 100 PEDREGAL ALTO ANCASH HUARAZ HUARAZ
SOLICITADO POR : CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : HUARAZ - ANCASH
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2017-08-08
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2017-08-08
MUESTREO POR : CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	LC	Unidades
Metales totales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Silice(SiO ₂), Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	---	mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

[Firma]
 Quim. Beltrán Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

Cod.: FI 02/Res/01n: 07/E/10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 2

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Resultado de análisis del primer monitoreo del DAR del río Shallap (afluente) en época seca (SH-01).



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



**INFORME DE ENSAYO N° 114432 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua superficial	
Matriz analizada		Agua natural	
Fecha de muestreo		2017-08-04	
Hora de inicio de muestreo (h)		09:39	
Condiciones de la muestra		Refrigerada / preservada	
Código del Cliente		SH - 01	
Código del Laboratorio		1708504	
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Plata (Ag)	0.0007	mg/L	<0.0007
Aluminio (Al)	0.01	mg/L	3.91
Arsénico (As)	0.001	mg/L	<0.001
Boro (B)	0.002	mg/L	0.003
Bario (Ba)	0.002	mg/L	<0.002
Berilio (Be)	0.0003	mg/L	<0.0003
Calcio (Ca)	0.05	mg/L	8.66
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	0.0014
Cerio (Ce)	0.002	mg/L	0.022
Cobalto (Co)	0.0005	mg/L	0.0303
Cromo (Cr)	0.0004	mg/L	<0.0004
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.0023
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	1.434
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001
Potasio (K)	0.04	mg/L	0.70
Litio (Li)	0.003	mg/L	0.008
Magnesio (Mg)	0.04	mg/L	5.08
Manganeso (Mn)	0.0005	mg/L	0.8031
Molibdeno (Mo)	0.002	mg/L	<0.002
Sodio (Na)	0.02	mg/L	2.52
Níquel (Ni)	0.0006	mg/L	0.0434
Fósforo (P)	0.003	mg/L	<0.003
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	0.0035
Antimonio (Sb)	0.002	mg/L	<0.002
Selenio (Se)	0.003	mg/L	<0.003
Silice (SiO ₂)	0.03	mg/L	5.16
Estaño (Sn)	0.001	mg/L	<0.001
Estroncio (Sr)	0.001	mg/L	0.032
Titanio (Ti)	0.0003	mg/L	0.0023
Talio (Tl)	0.003	mg/L	<0.003
Vanadio (V)	0.0004	mg/L	<0.0004
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	0.426

L.D.M.: Límite de detección del método

Lima, 16 de Agosto del 2017

[Firma]
Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

Cod.: FI.02/Version: 07/FE.10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF, 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 2 de 2

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Ensayo, método y unidades de análisis para los metales totales para agua superficial para el muestreo de SH-02.



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



**INFORME DE ENSAYO N° 115860 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

RAZÓN SOCIAL : THE MOUNTAIN INSTITUTE
DOMICILIO LEGAL : P.J RICARDO PALMA NR. 100 PEDREGAL ALTO ANCASH HUARAZ HUARAZ
SOLICITADO POR : CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : HUARAZ - ANCASH
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2017-10-07
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2017-10-07
MUESTREADO POR : CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	Unidades
Metales totales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cério, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Silíce(SiO ₂), Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	mg/L

Quim. **Belbeth Y. Fajardo León**
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

Cod.: FI 02/Version: 07/FE:10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente Informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 2

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Resultado de análisis del segundo monitoreo del DAR del río Shallap (afluente) en época de avenida (SH-02).



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



**INFORME DE ENSAYO N° 115860 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua superficial	
Matriz analizada		Agua natural	
Fecha de muestreo		2017-10-07	
Hora de inicio de muestreo (h)		10:00	
Coordenadas UTM WGS 84		235657E	
Altitud (msnm)		8947120N	
Descripción del punto de muestreo		3991	
Condiciones de la muestra		Refrigerada / preservada	
Código del Cliente		SH - 02	
Código del Laboratorio		1710568	
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Plata (Ag)	0.0007	mg/L	<0.0007
Aluminio (Al)	0.01	mg/L	3.35
Arsénico (As)	0.001	mg/L	<0.001
Boro (B)	0.002	mg/L	0.008
Bario (Ba)	0.002	mg/L	0.007
Berilio (Be)	0.0003	mg/L	<0.0003
Calcio (Ca)	0.05	mg/L	7.94
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	0.0006
Cerio (Ce)	0.002	mg/L	0.019
Cobalto (Co)	0.0005	mg/L	0.0261
Cromo (Cr)	0.0004	mg/L	<0.0004
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.0046
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	1.156
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001
Potasio (K)	0.04	mg/L	0.61
Litio (Li)	0.003	mg/L	0.009
Magnesio (Mg)	0.04	mg/L	4.62
Manganeso (Mn)	0.0005	mg/L	0.6645
Molibdeno (Mo)	0.002	mg/L	<0.002
Sodio (Na)	0.02	mg/L	2.05
Níquel (Ni)	0.0006	mg/L	0.0382
Fósforo (P)	0.003	mg/L	<0.003
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	0.0031
Antimonio (Sb)	0.002	mg/L	<0.002
Selenio (Se)	0.003	mg/L	<0.003
Silice (SiO ₂)	0.03	mg/L	4.77
Estaño (Sn)	0.001	mg/L	<0.001
Estroncio (Sr)	0.001	mg/L	0.032
Titanio (Ti)	0.0003	mg/L	0.0026
Talio (Tl)	0.003	mg/L	<0.003
Vanadio (V)	0.0004	mg/L	<0.0004
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	0.354

L.D.M.: Límite de detección del método

Quim. Belbeth V. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

Lima, 19 de Octubre del 2017

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod.: FI.02/Revisión: 07/FE-10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMENW - APHA - AWWA - WEF 22nd Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preestabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 2 de 2

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Ensayo, método y unidades de análisis para los metales totales en agua, sedimento-suelo y tejido vegetal.



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



**INFORME DE ENSAYO N° 116991 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

RAZÓN SOCIAL : THE MOUNTAIN INSTITUTE
DOMICILIO LEGAL : P.J. RICARDO PALMA N° 100 PEDREGAL ALTO ANCASH - HUARAZ -HUARAZ
SOLICITADO POR : CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : HUARAZ - ANCASH
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2017-11-28
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2017-11-28
MUESTREADO POR : CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.D.M.	Unidades
Agua			
Metales totales y disueltos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Silice(SiO ₂), Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc).	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	---	mg/L
Sedimento - Suelo			
Metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA 3050-B (1996) / EPA-Method 200.7 Revision 4.4(1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils Revision 2 December 1996 / Determination of Metals and Trace Elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry	---	mg/kg
Tejido Vegetal			
*Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Calcio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Vanadio, Zinc, Uranio.	EPA Method 200.3, Rev. 1, April.1991. Metals, Total Recoverable in Biological Tissues / EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version 1994.	---	mg/Kg

L.D.M.: limite de detección del método.

Quim. **Belbeth Y. Fajardo León**
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

Cod.: FI.02/Version: 07/FE-10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SME/WW - APHA - AWWA - WEF 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de precaribilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 6

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Resultado de análisis del efluente de los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico (SH-01, SH-02 y SH-03).



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



**INFORME DE ENSAYO N° 116991 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua superficial		
Matriz analizada	Aguas Naturales	Aguas Naturales	Aguas Naturales
Fecha de muestreo	2017-11-27	2017-11-27	2017-11-27
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	10:00	10:00
Condiciones de la muestra	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada
Código del Cliente	SH-P01	SH-P02	SH-P03
Código del Laboratorio	17112335	17112336	17112337
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Plata (Ag)	0.0007	mg/L	<0.0007
Aluminio (Al)	0.01	mg/L	0.0152
Arsénico (As)	0.001	mg/L	0.0013
Boro (B)	0.002	mg/L	0.217
Bario (Ba)	0.002	mg/L	0.062
Berilio (Be)	0.0003	mg/L	<0.0003
Calcio (Ca)	0.05	mg/L	>400
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	<0.0004
Cerio (Ce)	0.002	mg/L	<0.002
Cobalto (Co)	0.0005	mg/L	0.0030
Cromo (Cr)	0.0004	mg/L	<0.0004
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.0038
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	0.316
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001
Potasio (K)	0.04	mg/L	10.81
Litio (Li)	0.003	mg/L	0.114
Magnesio (Mg)	0.04	mg/L	>100
Manganeso (Mn)	0.0005	mg/L	3.0912
Molibdeno (Mo)	0.002	mg/L	<0.002
Sodio (Na)	0.02	mg/L	84.64
Níquel (Ni)	0.0006	mg/L	0.0142
Fósforo (P)	0.003	mg/L	0.026
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	<0.0005
Antimonio (Sb)	0.002	mg/L	<0.002
Selenio (Se)	0.003	mg/L	<0.003
Silice (SiO ₂)	0.03	mg/L	10.87
Estaño (Sn)	0.001	mg/L	<0.001
Estroncio (Sr)	0.001	mg/L	3.124
Titanio (Ti)	0.0003	mg/L	<0.0003
Talio (Tl)	0.003	mg/L	0.0032
Vanadio (V)	0.0004	mg/L	<0.0004
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	0.076

L.D.M.: Limite de detección del método


Quim. Bertha Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod.: FI.02/Version: 07/FE-10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - ALPHA - AWWA - WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente Informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 2 de 6

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Ensayo, método y unidades de análisis para los metales totales en tejido vegetal después de ser introducidos a los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico.



SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

SAG

INFORME DE ENSAYO N° 115267 - 2017

RAZÓN SOCIAL : THE MOUNTAIN INSTITUTE
DOMICILIO LEGAL : P.J RICARDO PALMA NRO. 100 PEDREGAL ALTO ANCASH HUARAZ HUARAZ
SOLICITADO POR : CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : HUARAZ - ANCASH
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2017-09-25
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2017-09-25
MUESTREADO POR : CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	Unidades
Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Calcio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Vanadio, Zinc, Uranio.	EPA Method 200.3, Rev. 1, April.1991. Metals, Total Recoverable in Biological Tissues / EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version 1994.	mg/Kg


 Quim. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

Página 1 de 3

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW) -APHA-AWWA-WEF. 22nd Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials - NTP: Norma Técnica Peruana
OBSERVACIONES: Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
 Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Cod: FI01 AV. Naciones Unidas N°1565 Chacra Rios Norte - Lima 01 - Peru Central Telefonica: 511 425 7227 / 425 6885 RPC: 994976442 Nextel: 98-109*1133
 Version: 08 Website: www.sagperu.com E-mail: sagperu@sagperu.com, laboratorio@sagperu.com
 F.E: 08/2016



Resultado de análisis para el tejido vegetal antes de ser introducidas a los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico de las especies *Juncus articus*, *Calamagrostis ligulata*, *Distichis sp* y *Juncus bufonius* (TV-A-01, TV-A-02, TV-A-03 y TV-A-04).



INFORME DE ENSAYO N° 115267 - 2017

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal		
Matriz analizada	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal		
Fecha de muestreo	2017-09-12	2017-09-12	2017-09-12	2017-09-12		
Hora de inicio de muestreo (h)	19:00	19:00	19:00	19:00		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	TV - A - 01	TV - A - 02	TV - A - 03	TV - A - 04		
Código del Laboratorio	17091277	17091278	17091279	17091280		
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados			
Metales totales						
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	<0.07	0.09	<0.07	0.56
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	160.3	401.7	18.8	117.8
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	5.3	25.8	9.8	5.9
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	5.3	14.3	8.4	33.8
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg	2307	4364	2741	5113
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	0.57	0.67	0.14	0.61
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	0.61	1.63	0.22	0.91
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	0.94	3.31	0.12	0.45
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	9.3	17.9	6.3	6.5
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	959.1	1483	1113	527.4
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Potasio (K)	4.3	mg/kg	7527	7960	9966	11878
Litio (Li)	0.3	mg/kg	2.5	8.1	1.7	8.7
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg	929.9	1850	1613	2955
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	138.1	320.0	154.3	345.7
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	0.8	8.5	0.7	3.1
Sodio (Na)	2.3	mg/kg	1732	2846	7945	5921
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	0.55	1.32	0.37	0.73
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	1135	2486	1681	1637
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	1.82	11.27	2.57	3.46
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	0.6	1.7	<0.2	0.7
Selenio(Se)	0.3	mg/kg	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	20.3	37.5	35.9	45.4
Talio(Tl)	0.3	mg/kg	<0.3	<0.3	<0.3	0.5
Vanadio (V)	0.04	mg/kg	0.35	1.17	0.05	0.33
Zinc (Zn)	0.2	mg/kg	45.3	184.6	51.9	116.6
Uranio (U)	0.7	mg/kg	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7

L.D.M.: Límite de detección del método


 Quim. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

Página 2 de 3

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (SMEWW) -APHA-AWWA-WEF, 22nd Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials - NTP: Norma Técnica Peruana
OBSERVACIONES: Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
 Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Cod: F101 AV. Naciones Unidas N°1565 Chacra Rios Norte - Lima 01 - Peru Central Telefonica: 511 425 7227 / 425 6885 RPC: 994976442 Nextel: 98-109*1133
 Version: 08 Website: www.sagperu.com E-mail: sagperu@sagperu.com, laboratorio@sagperu.com
 F.E: 08/2016

Resultado de análisis para el tejido vegetal antes de ser introducidas a los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico de la especie *Calamagrostis ovata* (TV-A-05).



INFORME DE ENSAYO N° 115267 - 2017

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Tejido vegetal	
Matriz analizada		Tejido vegetal	
Fecha de muestreo		2017-09-12	
Hora de inicio de muestreo (h)		19:00	
Condiciones de la muestra		Conservada	
Código del Cliente		TV - A - 05	
Código del Laboratorio		17091281	
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	<0.07
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	225.1
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	14.6
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	24.2
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	<0.03
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg	4613
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	0.57
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	2.10
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	3.49
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	8.5
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	1342
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1
Potasio (K)	4.3	mg/kg	10172
Litio (Li)	0.3	mg/kg	9.1
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg	1596
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	510.6
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	4.8
Sodio (Na)	2.3	mg/kg	1164
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	1.15
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	2563
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	3.72
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	2.2
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	55.4
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	<0.3
Vanadio (V)	0.04	mg/kg	0.69
Zinc (Zn)	0.2	mg/kg	86.8
Uranio (U)	0.7	mg/kg	<0.7

L.D.M.: Límite de detección del método

Lima, 02 de Octubre del 2017


 Quím. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

Página 3 de 3

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW) -APHA-AWWA-WEF 22nd Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials - NTP: Norma Técnica Peruana
 OBSERVACIONES: Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Solo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
 Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Cod: FI01
 Version: 08
 F.E: 08/2016

AV. Naciones Unidas N°1565 Chacra Rios Norte - Lima 01 - Peru Central Telefonica: 511 425 7227 / 425 6885 RPC: 994976442 Nextel: 98-109*1133
 Website: www.sagperu.com E-mail: sagperu@sagperu.com, laboratorio@sagperu.com

Resultado de análisis para el tejido vegetal después de ser introducidas a los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico de las especies *Juncus articus*, *Calamagrostis ligulata*, *Distichis sp* y *Juncus bufonius* (TV-D-01, TV-D-02, TV-D-03 y TV-D-04).



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

**INFORME DE ENSAYO N° 116991 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal		
Matriz analizada	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal		
Fecha de muestreo	2017-11-27	2017-11-27	2017-11-27	2017-11-27		
Hora de inicio de muestreo (h)	17:30	17:30	17:30	17:30		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	TV-D-01	TV-D-02	TV-D-03	TV-D-04		
Código del Laboratorio	17112330	17112331	17112332	17112333		
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados			
Metales totales						
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	0.11	0.32	<0.07	0.25
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	86.7	648.9	702.3	288.0
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	2.2	32.7	12.5	4.9
Boro (B)	0.2	mg/kg	9.8	17.0	15.2	18.3
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	2.9	14.8	15.6	23.4
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	<0.03	0.05	0.07	<0.03
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg	3046.6	9631.9	11137.7	8780.2
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	6.12	1.10	1.51	1.32
Cesio (Ce)	0.2	mg/kg	0.4	3.0	3.2	1.3
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	0.74	4.91	6.43	1.94
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	0.89	4.11	1.83	0.70
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	14.8	18.7	8.7	7.4
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	346.2	1310.3	2000.0	583.5
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Potasio (K)	4.3	mg/kg	21390.0	18961.7	18175.4	16578.6
Litio (Li)	0.3	mg/kg	1.1	4.7	10.2	4.0
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg	1496.1	3281.8	5525.1	3495.8
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	196.92	418.72	587.01	303.49
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	0.6	7.1	5.0	2.7
Sodio (Na)	2.3	mg/kg	1929.5	3039.2	4978.4	5525.6
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	0.62	5.00	5.87	2.32
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	1905.0	2490.9	3361.2	2048.9
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	1.60	21.92	6.12	3.34
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	<0.2	1.5	1.1	0.2
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	0.4	<0.3	<0.3	0.4
Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	0.2	0.3	0.3	0.3
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	17.6	54.7	62.2	51.7
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	1.89	9.27	7.87	4.32
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	0.4	0.6	0.9	0.4
Vanadio (V)	0.04	mg/kg	0.18	0.88	1.36	0.36
Zinc (Zn)	0.2	mg/kg	132.1	154.1	226.3	110.4
Uranio (U)	0.7	mg/kg	<0.7	<0.7	0.9	<0.7

L.D.M.: Limite de detección del método

Quím. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod.: FI 02/Revisión: 07/F.E: 10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 5 de 6

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Resultado de análisis para el tejido vegetal después de ser introducidas a los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico de la especie *Calamagrostis ovata* (TV-D-05).



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

**INFORME DE ENSAYO N° 116991 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Tejido vegetal		
Matriz analizada	Tejido vegetal		
Fecha de muestreo	2017-11-27		
Hora de inicio de muestreo (h)	17:30		
Condiciones de la muestra	Conservada		
Código del Cliente	TV-D-05		
Código del Laboratorio	17112334		
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	<0.07
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	1337.3
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	42.9
Boro (B)	0.2	mg/kg	10.0
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	28.6
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	0.11
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg	11028.4
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	1.91
Cesio (Ce)	0.2	mg/kg	5.1
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	11.44
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	5.47
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	15.3
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	4573.9
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1
Potasio (K)	4.3	mg/kg	5542.3
Litio (Li)	0.3	mg/kg	3.4
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg	2650.2
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	469.89
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	8.4
Sodio (Na)	2.3	mg/kg	1117.4
Niquel (Ni)	0.06	mg/kg	7.28
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	1795.5
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	16.89
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	3.5
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3
Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	0.4
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	63.0
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	19.46
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	0.6
Vanadio (V)	0.04	mg/kg	2.73
Zinc (Zn)	0.2	mg/kg	263.1
Uranio (U)	0.7	mg/kg	2.1

L.D.M.: Limite de detección del método

Lima, 14 de Diciembre del 2017

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod.: FI.02/Version: 07/EE:10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 6 de 6

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Resultado de análisis para el sedimento de los 3 sistemas pilotos de fitorremediación anaeróbico (Sed-P01, Sed-P02 y Sed-P03).



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



**INFORME DE ENSAYO N° 116991 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Sedimento		
Matriz analizada	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Fecha de muestreo	2017-11-27	2017-11-27	2017-11-27
Hora de inicio de muestreo (h)	13:00	13:00	13:00
Condiciones de la muestra	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada
Código del Cliente	Sed-P01	Sed-P02	Sed-P03
Código del Laboratorio	17112338	17112339	17112340
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	<0.07
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	7255.5
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	195.2
Boro (B)	0.2	mg/kg	<0.2
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	136.2
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	0.43
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg	6821.3
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	5.50
Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	23.9
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	12.65
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	7.11
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	39.3
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	>20000
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1
Potasio (K)	4.3	mg/kg	1080.5
Litio (Li)	0.3	mg/kg	24.2
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg	3244.6
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	710.82
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	0.8
Sodio (Na)	2.3	mg/kg	166.4
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	11.67
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	846.2
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	144.88
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	2.1
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3
Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	0.9
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	39.3
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	148.51
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	<0.3
Vanadio (V)	0.04	mg/kg	23.53
Zinc (Zn)	0.2	mg/kg	313.4

L.D.M.: límite de detección del método.

Reporte de resultados de sedimentos en base seca.


Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod.: FI.02/Version: 07/FE-10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF 2nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente Informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 3 de 6

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Resultado de análisis para la turba recolectada de los 3 sistemas pilotos de fitorremediación anaeróbico (Turba).



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

**INFORME DE ENSAYO N° 116991 - 2017
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo		
Matriz analizada	Suelo		
Fecha de muestreo	2017-11-20		
Hora de inicio de muestreo (h)	09:00		
Condiciones de la muestra	Refrigerada / preservada		
Código del Cliente	Turba		
Código del Laboratorio	17112341		
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	<0.07
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	6227.0
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	44.4
Boro (B)	0.2	mg/kg	<0.2
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	77.6
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	0.37
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg	4923.7
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	3.03
Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	11.9
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	2.72
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	3.18
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	13.1
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	12762.3
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1
Potasio (K)	4.3	mg/kg	582.7
Litio (Li)	0.3	mg/kg	3.9
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg	617.4
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	161.66
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	0.9
Sodio (Na)	2.3	mg/kg	77.8
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	3.79
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	812.4
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	40.06
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	3.7
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3
Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	0.7
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	37.8
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	53.28
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	<0.3
Vanadio (V)	0.04	mg/kg	13.72
Zinc (Zn)	0.2	mg/kg	45.1

L.D.M.: límite de detección del método.

Reporte de resultados de sedimentos en base seca.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod.: FI 02/Version: 07/FE:10/2017

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMENW - ALPHA - ANWA - WEF 22nd Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 4 de 6

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



Resultado de análisis del pH y conductividad en el DAR del río Shallap (afluente) en época seca.



INFORME DE ENSAYO AG170764

CLIENTE Razón Social : CRISTIAM J. ALEGRE OROPEZA
 Dirección : Huaraz - Ancash
 Atención : Cristian J. Alegre Oropeza

MUESTRA Producto declarado : Agua de Río
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
 Procedencia : Río Shallap - Distrito de Huaraz - Provincia de Huaraz - Región Ancash -
 Ref./Condición : **Coordenadas:** 235657 (E), 8947120 (N), 3991 (msnm)
 : Cadena de Custodia CC170443

MUESTREO Responsable : Área de Monitoreo Ambiental de la UNASAM¹
 Referencia : Protocolo de Monitoreo de Agua N° RM-001

LABORATORIO Fecha de recepción : 10/Agosto/2017
 Fecha de análisis : 10 de Agosto al 17 de Agosto/2017
 Cotización N° : CO170547

CÓD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	SH - 01
					Fecha de muestreo	04/08/2017
					Hora de muestreo	09:35
					Código del Laboratorio	AG170956
SM	SERVICIOS DE MUESTREO Y MEDICIÓN EN CAMPO					
SM13	pH (en campo)	Unid. pH	APHA 4500-H ⁺ B - Versión 2012 (*)			3.52
SM14	Conductividad (en campo)	µS cm ⁻¹	APHA 2510 B - Versión 2012 (*)			287
SM 15	Oxígeno Disuelto (en Campo)	mg/l	APHA 4500-O G (*)	0.01		8.71
SM16	Temperatura (en campo)	°C	APHA 2550 B (*)			7.1

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA
 El muestreo No se encuentra dentro del alcance de la acreditación del Laboratorio de Calidad Ambiental-FCAM-UNASAM
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 17 de Agosto de 2017



Quím. Mario Leyva Collas
 Responsable del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

Resultado de análisis del pH y conductividad en el DAR del río Shallap (afluente) en época de avenida.



INFORME DE ENSAYO AG171022

CLIENTE Razón Social : CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA
 Dirección : Huaraz - Ancash
 Atención : Cristiam J. Alegre Oropeza

MUESTRA Producto declarado : Agua de Río
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
 Procedencia : Río Shallap - Bocatoma - Ubicado en la Subcuenca del Río quillcay - Provincia de Huaraz - Región Ancash - con **Coordenadas:** 235657 (E), 8947120 (N), 3991 (msnm)
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170624

MUESTREO Responsable : Área de Monitoreo Ambiental de la UNASAM¹
 Referencia : Protocolo de Monitoreo de Agua N° RM-001

LABORATORIO Fecha de recepción : 06/Octubre/2017
 Fecha de análisis : 06 de Octubre al 13 de Octubre/2017
 Cotización N° : CO170720

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	SH - 02
					Fecha de muestreo	06/10/2017
					Hora de muestreo	10:15
					Código del Laboratorio	AG171478
SM	SERVICIOS DE MUESTREO Y MEDICIÓN EN CAMPO					
SM13	pH (en campo)	Unid. pH	APHA 4500-H ⁺ B-Versión 2012 ( * )	.....		3.54
SM14	Conductividad (en campo)	µS cm ⁻¹	APHA 2510 B -Versión 2012 ( * )	.....		231
SM 15	Oxígeno Disuelto (en Campo)	mg/l	APHA 4500-O G (*)	0.01		7.24
SM16	Temperatura (en campo)	°C	APHA 2550 B ( * )	.....		10.4

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA
¹ El muestreo No se encuentra dentro del alcance de la acreditación del Laboratorio de Calidad Ambiental-FCAM-UNASAM
 Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 13 de Octubre de 2017



Quim. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



Resultado de análisis del pH y conductividad en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico para SH-P01.



INFORME DE ENSAYO AG171198

CLIENTE Razón Social : CRISTIAM ALEGRE OROPEZA
 Dirección : Prol. Huaylas, Urb. Los Angeles 115
 Atención : Cristiam Alegre Oropeza

MUESTRA Producto declarado : Agua Tratada en el Sistema de Humedal Artificial
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
 Procedencia : Aguas del Rio Shallah, Planta Piloto N° 01, Distrito de Independencia, Provincia de Huaraz
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170733

MUESTREO Responsable : Área de Monitoreo Ambiental de la UNASAM¹
 Referencia : Protocolo de Monitoreo de Agua N° RM-001

LABORATORIO Fecha de recepción : 17/Noviembre/2017
 Fecha de análisis : 17 de Noviembre al 24 de Noviembre/2017
 Cotización N° : CO170820

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	SH - P01
					Fecha de muestreo	17/11/2017
					Hora de muestreo	14:00
					Código del Laboratorio	AG171819
SERVICIOS DE MUESTREO Y MEDICIÓN EN CAMPO						
SM						
SM13	pH (en campo)	Unid. pH	APHA 4500-H ⁺ B - Versión 2012 (*)	.....		6.78
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm ⁻¹	APHA 2510 B - Versión 2012 (*)	.....		3540
SM15	Oxígeno Disuelto (en Campo)	mg/l	APHA 4500-O G (*)	0.01		3.69
SM16	Temperatura (en campo)	°C	APHA 2550 B (*)	.....		14.4

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ El muestreo No se encuentra dentro del alcance de la acreditación del Laboratorio de Calidad Ambiental-FCAM-UNASAM
 Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 24 de Noviembre de 2017



M.Sc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



Resultado de análisis del pH y conductividad en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico para SH-P02.



INFORME DE ENSAYO AG171199

CLIENTE Razón Social : CRISTIAM ALEGRE OROPEZA
 Dirección : Prol. Huaylas, Urb. Los Angeles 115
 Atención : Cristiam Alegre Oropeza

MUESTRA Producto declarado : Agua Tratada en el Sistema de Humedal Artificial
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
 Procedencia : Aguas del Río Shallah, Planta Piloto N° 02, Distrito de Independencia, Provincia de Huaraz
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170733

MUESTREO Responsable : Área de Monitoreo Ambiental de la UNASAM¹
 Referencia : Protocolo de Monitoreo de Agua N° RM-001

LABORATORIO Fecha de recepción : 17/Noviembre/2017
 Fecha de análisis : 17 de Noviembre al 24 de Noviembre/2017
 Cotización N° : CO170820

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	SH - P02
					Fecha de muestreo	17/11/2017
					Hora de muestreo	14:15
					Código del Laboratorio	AG171820
SERVICIOS DE MUESTREO Y MEDICIÓN EN CAMPO						
SM	pH (en campo)	Unid. pH	APHA 4500-H ⁺ B -Versión 2012 (*)	.....		6.81
SM14	Conductividad (en campo)	µS.cm ⁻¹	APHA 2510 B -Versión 2012 (*)	.....		3300
SM 15	Oxígeno Disuelto (en Campo)	mg/l	APHA 4500- O G (*)	0.01		3.81
SM16	Temperatura (en campo)	°C	APHA 2550 B (*)	.....		13.8

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA
¹ El muestreo No se encuentra dentro del alcance de la acreditación del Laboratorio de Calidad Ambiental-FCAM-UNASAM
 Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 24 de Noviembre de 2017



Mario Leyva Collas
 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

Resultado de análisis del pH y conductividad en el efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico para SH-P03.



INFORME DE ENSAYO AG171200

CLIENTE Razón Social : CRISTIAM ALEGRE OROPEZA
 Dirección : Prol. Huaylas, Urb. Los Angeles 115
 Atención : Cristian Alegre Oropeza

MUESTRA Producto declarado : Agua Tratada en el Sistema de Humedal Artificial
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
 Procedencia : Aguas del Rio Shallap, Planta Piloto N° 03, Distrito de Independencia, Provincia de Huaraz
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170733

MUESTREO Responsable : Área de Monitoreo Ambiental de la UNASAM¹
 Referencia : Protocolo de Monitoreo de Agua N° RM-001

LABORATORIO Fecha de recepción : 17/Noviembre/2017
 Fecha de análisis : 17 de Noviembre al 24 de Noviembre/2017
 Cotización N° : CO170820

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	SH - P03
					Fecha de muestreo	17/11/2017
					Hora de muestreo	14:30
					Código del Laboratorio	AG171821
SERVICIOS DE MUESTREO Y MEDICIÓN EN CAMPO						
SM						
SM13	pH (en campo)	Unid. pH	APHA 4500-H ⁺ B.-Versión 2012 (*)	.....		6.98
SM14	Conductividad (en campo)	µS.cm ⁻¹	APHA 2510 B -Versión 2012 (*)	.....		3270
SM 15	Oxígeno Disuelto (en Campo)	mg/l	APHA 4500-O G (*)	0.01		3.95
SM16	Temperatura (en campo)	°C	APHA 2550 B (*)	.....		13.5

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ El muestreo No se encuentra dentro del alcance de la acreditación del Laboratorio de Calidad Ambiental-FCAM-UNASAM

Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 24 de Noviembre de 2017



MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

Resultado de la identificación de la especie vegetal "*Calamagrostis ovata*".



Herbarium Truxillense (HUT)

Universidad Nacional de Trujillo
Facultad de Ciencias Biológicas
Jr. San Martín 392, Trujillo - Perú



Constancia N° 105 – 2017 - HUT

EL DIRECTOR DEL HERBARIUM TRUXILLENSE (HUT) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.

Da Constancia de la determinación taxonómica de un (01) espécimen vegetal:

- **Clase:** Equisetopsida
- **Subclase:** Magnoliidae
- **Superorden:** Liliales
- **Orden:** Poales
- **Familia:** Poaceae
- **Género:** *Calamagrostis*
- **Especie :** *C. ovata* (J. Presl) Steud.

Muestra alcanzada a este despacho por CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA, identificado con DNI N° 44980724, con domicilio legal en Jr. Los geranios #115 Urb. Los Ángeles, independencia, Huaraz; Bachiller de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo (UNASAM), cuya determinación taxonómica servirá para la realización con fines de investigación en la tesis: "EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN PARA LA INMOVILIZACIÓN ANAERÓBICA DE METALES TOTALES DE LAS AGUAS DEL RIO SHALLAP – HUARAZ – 2020"

Se expide la presente Constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que hubiera lugar.

Trujillo, 13 de Noviembre del 2017



Dr. JOSE MOSTACERO LEON
Director del Herbario HUT

cc. Herbario HUT

E- mail: herbariumtruxillensehut@yahoo.com

Resultado de la identificación de la especie vegetal "*Calamagrostis ligulata*".



Herbarium Truxillense (HUT)

Universidad Nacional de Trujillo
Facultad de Ciencias Biológicas
Jr. San Martín 392, Trujillo - Perú



Constancia N° 106 – 2017- HUT

EL DIRECTOR DEL HERBARIUM TRUXILLENSE (HUT) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.

Da Constancia de la determinación taxonómica de un (01) espécimen vegetal:

- Clase: Equisetopsida
- Subclase: Magnoliidae
- Superorden: Liliales
- Orden: Poales
- Familia: Poaceae
- Género: *Calamagrostis*
- Especie : *C. ligulata* (Kunth) Hitchc.

Muestra alcanzada a este despacho por CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA, identificado con DNI N° 44980724, con domicilio legal en Jr. Los geranios #115 Urb. Los Ángeles, independencia, Huaraz; Bachiller de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo (UNASAM), cuya determinación taxonómica servirá para la realización con fines de investigación en la tesis: "EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN PARA LA INMOVILIZACIÓN ANAERÓBICA DE METALES TOTALES DE LAS AGUAS DEL RIO SHALLAP – HUARAZ – 2020"

Se expide la presente Constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que hubiera lugar.

Trujillo, 13 de Noviembre del 2017



Dr. JOSE MOSTACERO LEÓN
Director del Herbario HUT

cc. Herbario HUT

E-mail: herbariumtruxillensehut@yahoo.com

Resultado de la identificación de la especie vegetal "*Juncus articus*".



Herbarium Truxillense (HUT)

Universidad Nacional de Trujillo
Facultad de Ciencias Biológicas
Jr. San Martín 392, Trujillo - Perú



Constancia N° 102 - 2017- HUT

EL DIRECTOR DEL HERBARIUM TRUXILLENSE (HUT) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.

Da Constancia de la determinación taxonómica de un (01) espécimen vegetal:

- Clase: Equisetopsida
- Subclase: Magnoliidae
- Superorden: Liliales
- Orden: Poales
- Familia: Juncaceae
- Género: *Juncus*
- Especie : *J. articus* Willd.

Muestra alcanzada a este despacho por CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA, identificado con DNI N° 44980724, con domicilio legal en Jr. Los geranios #15 Urb. Los Ángeles, Independencia, Huaraz; Bachiller de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo (UNASAM), cuya determinación taxonómica servirá para la realización con fines de investigación en la tesis: "EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN PARA LA INMOVILIZACIÓN ANAERÓBICA DE METALES TOTALES DE LAS AGUAS DEL RÍO SHALLAP - HUARAZ - 2020"

Se expide la presente Constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que hubiera lugar.

Trujillo, 13 de Noviembre del 2017



Dr. JOSE MOSTACERO LEON
Director del Herbario HUT

cc Herbario HUT

Resultado de la identificación de la especie vegetal "*Distichia sp.*"



Herbarium Truxillense (HUT)

Universidad Nacional de Trujillo
Facultad de Ciencias Biológicas
Jr. San Martín 392, Trujillo - Perú



Constancia N° 104 – 2017- HUT

EL DIRECTOR DEL HERBARIUM TRUXILLENSE (HUT) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.

Da Constancia de la determinación taxonómica de un (01) espécimen vegetal

- Clase: Equisetopsida
- Subclase: Magnoliidae
- Superorden: Liliales
- Orden: Poales
- Familia: Juncaceae
- Género: *Distichia*
- Especie : *D. sp*

Muestra alcanzada a este despacho por CRISTIAM JOSEPH ALEGRE OROPEZA, identificado con DNI N° 44980724, con domicilio legal en Jr. Los geranios #15 Urb. Los Ángeles, Independencia, Huaraz; Bachiller de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo (UNASAM), cuya determinación taxonómica servirá para la realización con fines de investigación en la tesis: "EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN PARA LA INMOVILIZACIÓN ANAERÓBICA DE METALES TOTALES DE LAS AGUAS DEL RÍO SHALLAP – HUARAZ – 2020"

Se expide la presente Constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que hubiera lugar.

Trujillo, 13 de Noviembre del 2017



Dr. JOSE MOSTACERO LEON
Director del Herbario HUT

cc. Herbario HUT

Resultado de la identificación de la especie vegetal "*Juncus bufonius*".



Herbarium Truxillense (HUT)

Universidad Nacional de Trujillo
Facultad de Ciencias Biológicas
Jr. San Martín 392, Trujillo - Perú



Constancia N° 103 – 2017- HUT

EL DIRECTOR DEL HERBARIUM TRUXILLENSE (HUT) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.

Da Constancia de la determinación taxonómica de un (01) espécimen vegetal:

- Clase: Equisetopsida
- Subclase: Magnoliidae
- Superorden: Liliales
- Orden: Poales
- Familia: Juncaceae
- Género: *Juncus*
- Especie : *J. bufonius* L.

Muestra alcanzada a este despacho por CRISTIAN JOSEPH ALEGRE OROPEZA, identificado con DNI N° 44980724, con domicilio legal en Jr. Los geranios #115 Urb. Los Ángeles, Independencia, Huaraz; Bachiller de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo (UNASAM), cuya determinación taxonómica servirá para la realización con fines de investigación en la tesis: "EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN PARA LA INMOVILIZACIÓN ANAERÓBICA DE METALES TOTALES DE LAS AGUAS DEL RÍO SHALLAP – HUARAZ – 2020"

Se expide la presente Constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que hubiera lugar.

Trujillo, 13 de Noviembre del 2017



Dr. JOSE MOSTACERO LEÓN
Director del Herbario HUT

cc. Herbario HUT

ANEXO 4

Tablas de resultados



Tabla 18: Resultados del análisis de agua superficial del DAR del río Shallap en época seca y época de avenida.

Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada
Ensayo	SH - 01	SH - 02
Metales Totales	mg/L	mg/L
Plata (Ag)	<0,0007	<0,0007
Aluminio (Al)	3,91	3,35
Arsénico (As)	<0,001	<0,001
Boro (B)	0,003	0,008
Bario (Ba)	<0,002	0,007
Berilio (Be)	<0,0003	<0,0003
Calcio (Ca)	8,66	7,94
Cadmio (Cd)	0,0014	0,0006
Cerio (Ce)	0,022	0,019
Cobalto (Co)	0,0303	0,0261
Cromo (Cr)	<0,0004	<0,0004
Cobre (Cu)	0,0023	0,0046
Hierro (Fe)	1,434	1,156
Mercurio (Hg)	<0,001	<0,001
Potasio (K)	0,7	0,61
Litio (Li)	0,008	0,009
Magnesio (Mg)	5,08	4,62
Manganeso (Mn)	0,8031	0,6645
Molibdeno (Mo)	<0,002	<0,002
Sodio (Na)	2,52	2,05
Níquel (Ni)	0,0434	0,0382
Fósforo (P)	<0,003	<0,003
Plomo (Pb)	0,0035	0,0031
Antimonio (Sb)	<0,002	<0,002
Selenio (Se)	<0,003	<0,003
Silice (SiO ₂)	5,16	4,77
Estaño (Sn)	<0,001	<0,001
Estroncio (Sr)	0,032	0,032
Titanio (Ti)	0,0023	0,0026
Talio (Tl)	<0,003	<0,003
Vanadio (V)	<0,0004	<0,0004
Zinc (Zn)	0,426	0,354

Tabla 19: Resultados del análisis de agua del efluente del sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada
Ensayo	SH-P01	SH-P02	SH-P03
Metales Totales	mg/L	mg/L	mg/L
Plata (Ag)	<0.0007	<0.0007	<0.0007
Aluminio (Al)	0,0152	0,01	0,0103
Arsénico (As)	0,0013	<0,001	0,0013
Boro (B)	0,217	0,171	0,177
Bario (Ba)	0,062	0,052	0,0497
Berilio (Be)	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Calcio (Ca)	>400	>400	>400
Cadmio (Cd)	<0,0004	0,0021	0,0013
Cerio (Ce)	0,002	0,002	0,002
Cobalto (Co)	0,003	0,0013	0,0026
Cromo (Cr)	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Cobre (Cu)	0,0038	0,0053	0,0039
Hierro (Fe)	0,316	0,012	0,238
Mercurio (Hg)	<0,001	<0,001	<0,001
Potasio (K)	10,81	12,98	10,29
Litio (Li)	0,114	0,108	0,096
Magnesio (Mg)	>100	76,6	94,47
Manganeso (Mn)	3,0912	1,7292	2,6393
Molibdeno (Mo)	<0,002	<0,002	<0,002
Sodio (Na)	84,64	31,79	27,44
Níquel (Ni)	0,0142	0,0155	0,0143
Fósforo (P)	0,026	0,021	0,026
Plomo (Pb)	0,0005	0,0005	0,0005
Antimonio (Sb)	<0,002	<0,002	<0,002
Selenio (Se)	<0,003	<0,003	<0,003
Silice (SiO ₂)	10,87	12,95	12,63
Estaño (Sn)	<0,001	<0,001	<0,001
Estroncio (Sr)	3124	2900	2882
Titanio (Ti)	0,0003	0,0003	0,0003
Talio (Tl)	0,0032	<0,003	<0,003
Vanadio (V)	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Zinc (Zn)	0,076	0,141	0,214

Tabla 20: Concentración de hierro total en suelo (mg/Kg).

Metales totales	DAR del rio Shallap (afluente) (P)	Efluente (P)	EFICIENCIA
Aluminio (Al)	3,63	0,012	99,67%
Cerio (Ce)	0,02	0,002	90,24%
Cobalto (Co)	0,03	0,002	91,84%
Hierro (Fe)	1,30	0,189	85,43%
Níquel (Ni)	0,04	0,015	64,05%
Plomo (Pb)	0,00	0,001	84,85%
Titanio (Ti)	0,00	0,000	87,76%
Zinc (Zn)	0,39	0,144	63,16%

Tabla 21: Resultados del pH en el DAR del rio Shallap (afluente) época seca y época de avenida.

CODIGO	PARAMETRO	UNIDAD	METODO	MUESTRA	
				Código del Cliente	Código del Cliente
SM	SERVICIO DE MUESTREO Y MEDICION EN CAMPO			SH-01	SH-02
				Código del Laboratorio	Código del Laboratorio
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	3,52	3,54

Tabla 22: Resultados de la medición del pH en el efluente del sistema piloto de fitorremediación con instrumentos del Laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM.

CODIGO DE ANÁLISIS	PARAMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	METODO	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
				SH-P01	SH-P02	SH-P03
SM	SERVICIO DE MUESTREO Y MEDICION EN CAMPO			Cod. Lab. AG170764	Cod. Lab. AG171022	Cod. Lab. AG171022
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	6,78	6,81	6,98
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	6,84	6,74	7,00
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	6,89	6,98	7,19
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	6,82	6,76	6,72
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	6,76	6,73	6,72
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	6,78	6,80	6,81
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	6,96	6,89	7,06
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	6,74	6,83	6,78
SM13	pH (en campo)	Und. pH	APHA 4500-H	6,81	6,82	6,94

Tabla 23: Resultados de la conductividad en el DAR del rio Shallap (afluente) época seca y época de avenida.

Longitud de la raíz de las especies vegetales estudiadas (cm).

CODIGO DE ANÁLISIS	PARAMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	METODO	SH-01	SH-02
				SM	SERVICIO DE MUESTREO Y MEDICION EN CAMPO
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	287	231

Tabla 24: Resultados de la medición de la conductividad en el efluente del sistema piloto de fitorremediación con instrumentos del Laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM.

CODIGO DE ANÁLISIS	PARAMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	METODO	SH-01	SH-02	SH-03
SM	SERVICIO DE MUESTREO Y MEDICION EN CAMPO			Cod. Lab AG170764	Cod. Lab AG171022	Cod. Lab AG171022
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	3540	3300	3270
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	3800	3250	3670
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	3920	3460	3670
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	3960	3260	3610
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	3690	3290	3410
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	3660	3310	3240
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	3590	3360	3330
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	3570	3290	3320
SM14	Conductividad (en campo)	uS.cm-1	APHA 2510-B	3610	3210	3190

Tabla 25: Resultados del análisis de metales totales en las especies vegetales antes de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

Condiciones de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente			TV - A - 01	TV - A - 02	TV - A - 03	TV - A - 04	TV - A - 05
Código del Laboratorio			17091277	17091278	17091279	17091280	17091281
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales							
Plata (Ag)	0.07	mg/Kg	<0.07	0,09	<0.07	0.56	<0.07
Aluminio (Al)	1.4	mg/Kg	160,3	401,7	18,8	117,8	225,1
Arsénico (As)	0,1	mg/Kg	5,3	25,8	9,8	5,9	14,6
Boro (B)	0.2	mg/Kg	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	0.2	mg/Kg	5,3	14,3	8,4	33,8	24,4
Berilio (Be)	0.03	mg/Kg	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Calcio (Ca)	4.7	mg/Kg	2307	4364	2741	5113	4613
Cadmio (Cd)	0.04	mg/Kg	0,57	0,67	0,14	0,61	0,57
Cerio (Ce)	0.2	mg/Kg	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	0.04	mg/Kg	0,94	3,31	0,12	0,45	3,49
Cobre (Cu)	0.1	mg/Kg	9,3	17,9	6,3	6,5	8,5
Hierro (Fe)	0.2	mg/Kg	959,1	1483	1113	527,4	1342
Mercurio (Hg)	0.1	mg/Kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Potasio (K)	4.3	mg/Kg	7527	7960	9966	11878	10172
Litio (Li)	0.3	mg/Kg	2,5	8,1	1,7	8,7	9,1
Magnesio (Mg)	4.4	mg/Kg	929,9	1850	1613	2955	1596
Manganeso (Mn)	0.05	mg/Kg	138,1	320	154,3	345,7	510,6
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/Kg	0,8	8,5	0,7	3,1	4,8
Sodio (Na)	2.3	mg/Kg	1732	2846	7945	5921	1164
Níquel (Ni)	0.06	mg/Kg	0,55	1,32	0,37	0,73	1,15
Fósforo (P)	0.3	mg/Kg	1135	2486	1681	1637	2563
Plomo (Pb)	0.06	mg/Kg	1,82	11,27	2,57	3,46	3,72
Antimonio (Sb)	0.2	mg/Kg	0,6	1,7	0,2	0,7	2,2
Selenio (Se)	0.3	mg/Kg	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3
Estaño (Sn)	0.1	mg/Kg	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	0.1	mg/Kg	20,3	37,5	35,9	45,4	55,4
Titanio (Ti)	0.03	mg/Kg	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	0.3	mg/Kg	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3
Vanadio (V)	0.04	mg/Kg	0,35	1,17	0,05	0,33	0,69
Zinc (Zn)	0.2	mg/Kg	45,3	184,6	51,9	116,6	86,8
Uranio (U)	0.7	mg/kg	<0.7	<0.7	0.9	<0.7	2.1

Tabla 26: Resultados del análisis de metales totales en las especies vegetales después de ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

Condiciones de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente			TV - D - 01	TV - D - 02	TV - D - 03	TV - D - 04	TV - D - 05
Código del Laboratorio			17091277	17091278	17091279	17091280	17091281
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales							
Plata (Ag)	0.07	mg/Kg	0.11	0.32	<0.07	0.25	<0.07
Aluminio (Al)	1.4	mg/Kg	86,7	648,9	702,3	288	1337,3
Arsénico (As)	0,1	mg/Kg	2,2	32,7	12,5	4,9	42,9
Boro (B)	0.2	mg/Kg	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	0.2	mg/Kg	2,9	14,8	15,6	23,4	28,6
Berilio (Be)	0.03	mg/Kg	0,03	0,05	0,07	0,03	0,11
Calcio (Ca)	4.7	mg/Kg	3046,6	9631,9	11137,7	8780,2	11028,4
Cadmio (Cd)	0.04	mg/Kg	6,12	1,1	1,51	1,32	1,91
Cerio (Ce)	0.2	mg/Kg	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	0.05	mg/Kg	0,74	4,91	6,43	1,94	11,44
Cromo (Cr)	0.04	mg/Kg	0,89	4,11	1,83	0,7	5,47
Cobre (Cu)	0.1	mg/Kg	14,8	18,7	8,7	7,4	15,3
Hierro (Fe)	0.2	mg/Kg	346,2	1310,3	2000	583,5	4573,9
Mercurio (Hg)	0.1	mg/Kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Potasio (K)	4.3	mg/Kg	21390	18961,7	18175,4	16578,6	5542,3
Litio (Li)	0.3	mg/Kg	1,1	4,7	10,2	4	3,4
Magnesio (Mg)	4.4	mg/Kg	1496,1	3281,8	5525,1	3495,8	2650,2
Manganeso (Mn)	0.05	mg/Kg	196,92	418,72	587,01	303,49	469,89
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/Kg	0,6	7,1	5	2,7	8,4
Sodio (Na)	2.3	mg/Kg	1929,5	3039,2	4978,4	5525,6	1117,4
Níquel (Ni)	0.06	mg/Kg	0,62	5	5,87	2,32	7,28
Fósforo (P)	0.3	mg/Kg	1905	2490,9	3361,2	2048,9	1795,5
Plomo (Pb)	0.06	mg/Kg	1,6	21,92	6,12	3,34	16,89
Antimonio (Sb)	0.2	mg/Kg	0,2	1,5	1,1	0,2	3,5
Selenio (Se)	0.3	mg/Kg	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
Estaño (Sn)	0.1	mg/Kg	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	0.1	mg/Kg	17,6	54,7	62,2	51,7	63
Titanio (Ti)	0.03	mg/Kg	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	0.3	mg/Kg	0,4	0,6	0,9	0,4	0,6
Vanadio (V)	0.04	mg/Kg	0,18	0,88	1,36	0,36	2,73
Zinc (Zn)	0.2	mg/Kg	132,1	154,1	226,3	110,4	263,1
Uranio (U)	0.7	mg/kg	<0.7	<0.7	0.9	<0.7	2.1

Tabla 27: Resultado del análisis de sedimento acumulado en el sistema piloto de fitorremediación anaeróbico.

Ensayo	Código del Cliente		Sed - P01	Sed - P02	Sed - P03
	L.D.M.	Unidades	Resultados	Resultados	Resultados
Metales					
Plata (Ag)	0.07	mg/Kg	<0,07	<0,07	<0,07
Aluminio (Al)	1.4	mg/Kg	7255,5	7081	6858,3
Arsénico (As)	0,1	mg/Kg	195,2	198,9	216,4
Boro (B)	0.2	mg/Kg	<0,2	<0,2	<0,2
Bario (Ba)	0.2	mg/Kg	136,2	137,1	142,5
Berilio (Be)	0.03	mg/Kg	0,43	0,43	0,41
Calcio (Ca)	4.7	mg/Kg	6821,3	6899,4	6351,1
Cadmio (Cd)	0.04	mg/Kg	5,5	4,97	5,07
Cerio (Ce)	0.2	mg/Kg	23,9	22,6	22,5
Cobalto (Co)	0.05	mg/Kg	12,65	12,02	12,22
Cromo (Cr)	0.04	mg/Kg	7,11	6,01	5,94
Cobre (Cu)	0.1	mg/Kg	39,3	38,7	35,7
Hierro (Fe)	0.2	mg/Kg	20000	19171,6	16606,7
Mercurio (Hg)	0.1	mg/Kg	<0,1	<0,1	<0,1
Potasio (K)	4.3	mg/Kg	1080,5	1055,7	1135,2
Litio (Li)	0.3	mg/Kg	24,2	23,2	24,8
Magnesio (Mg)	4.4	mg/Kg	3244,6	2657,3	2394
Manganeso (Mn)	0.05	mg/Kg	710,82	660,89	658,98
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/Kg	0,8	0,8	0,8
Sodio (Na)	2.3	mg/Kg	166,4	138,5	133,5
Níquel (Ni)	0.06	mg/Kg	11,67	11,02	11,17
Fósforo (P)	0.3	mg/Kg	846,2	835,1	828
Plomo (Pb)	0.06	mg/Kg	144,88	127,98	148,22
Antimonio (Sb)	0.2	mg/Kg	2,1	3	2,5
Selenio (Se)	0.3	mg/Kg	<0,3	<0,3	<0,3
Estaño (Sn)	0.1	mg/Kg	0,9	1	1
Estroncio (Sr)	0.1	mg/Kg	39,3	40,8	39,6
Titanio (Ti)	0.03	mg/Kg	148,51	135,26	136,72
Talio (Tl)	0.3	mg/Kg	<0,3	0,3	<0,3
Vanadio (V)	0.04	mg/Kg	23,53	20,55	20,15
Zinc (Zn)	0.2	mg/Kg	313,4	244,9	262,2

ANEXO 5

ANÁLISIS ESTADÍSTICO



A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES TOTALES ENTRE EL DAR DEL RIO SHALLAP (AFLUENTE) Y EL EFLUENTE DEL SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN ANAERÓBICO.

Tabla 28: Análisis estadístico de la comparación en la concentración del DAR del río Shallap (afluente) y el efluente.

Pruebas de Normalidad						
Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	0,369	8	0,002	0,593	8	0,000

Tabla 29: Análisis estadístico del planteo de la prueba de rangos de wilcoxon en base a las medianas en estudio del experimento.

	ENTRADA (afluente)	ENTRADA (efluente)	DIFERENCIA
	3,63	0,011833333	3,618166667
	0,0205	0,002	0,0185
	0,0282	0,0023	0,0259
	1,295	0,188666667	1,106333333
	0,0408	0,014666667	0,026133333
	0,0033	0,0005	0,0028
	0,00245	0,0003	0,00215
	0,39	0,143666667	0,246333333
MEDIANA	0,035	0,007	

Tabla 30: Análisis estadístico del planteo de la prueba de rangos de wilcoxon.

Estadísticos de prueba ^a	
	DIFERENCIA - ENTRADA
Z	-2,521 ^b
Sig. Asintótica (bilateral)	0,012

HO: NO SE INMOVILIZAN METALES PESADOS EN EL SISTEMA PILOTO DE FOTOREMEDIACION ANAEROBICO

H1: SE INMOVILIZAN METALES PESADOS EN EL SISTEMA PILOTO DE FOTOREMEDIACION ANAEROBICO

Se valida la hipótesis H1, porque la significancia asintótica (bilateral) es menor al error de significancia del 0.05.

B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ENTRE EL SEDIMENTO Y LAS ESPECIES VEGETALES (FITORREMEDIACIÓN).

Tabla 31: Análisis estadístico del coeficiente de correlación de Pearson.

	SEDIMENTO (SULFUROGENESIS)	FITORREMEDIACIÓN DEL SISTEMA	DIFERENCIA
Aluminio (Al)	7064,933	2139,500	4925,433
Cobalto (Co)	12,297	19,990	-7,693
Hierro (Fe)	18592,767	3389,400	15203,367
Níquel (Ni)	11,287	16,970	-5,683
Plomo (Pb)	140,360	27,030	113,330
Zinc (Zn)	273,500	400,800	-127,300

El r (coef. de correl.) = 0,9706

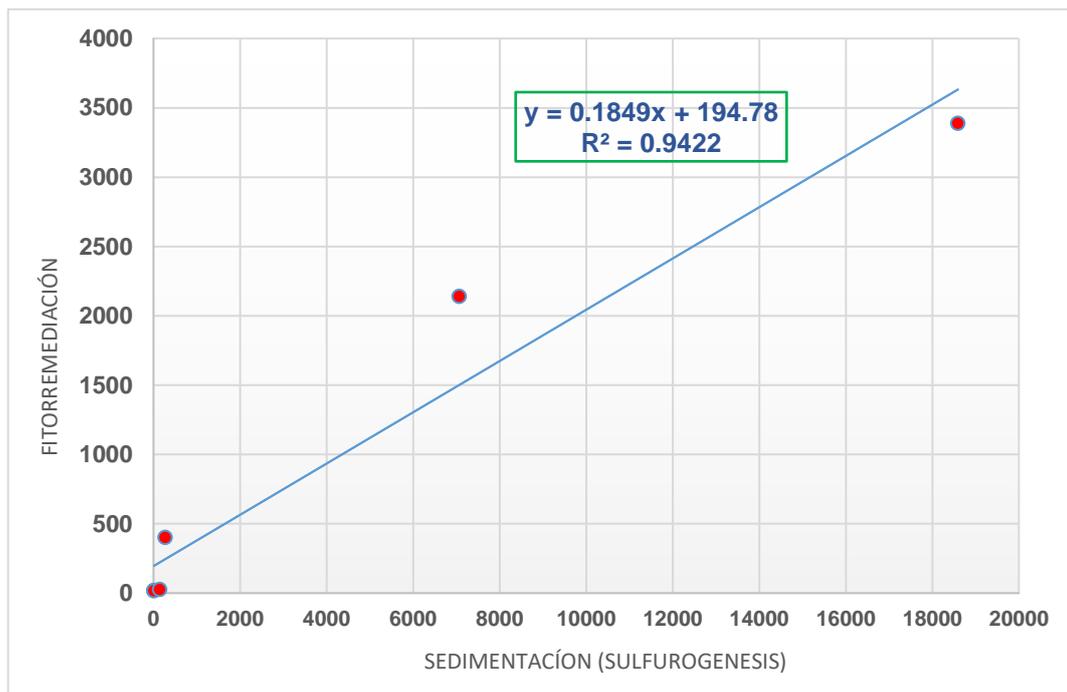


Figura 32. Coeficiente de correlación de Pearson para medir la relación entre la fitorremediación y la sedimentación del sistema fitorremediador anaeróbico.

- H₀**: No están relacionados como un sistema de secuestro de metales pesados los sedimentos y las especies vegetales.
- H₁**: Están relacionados como un sistema de secuestro de metales pesados los sedimentos y las especies vegetales.

Se valida la hipótesis H1 porque el r^2 calculado se aproxima significativamente a 1. La relación que existe para el secuestro de metales pesados entre la fitorremediación (especies vegetales) y la sedimentación como un sistema está siendo explicada en un 94.2 %.

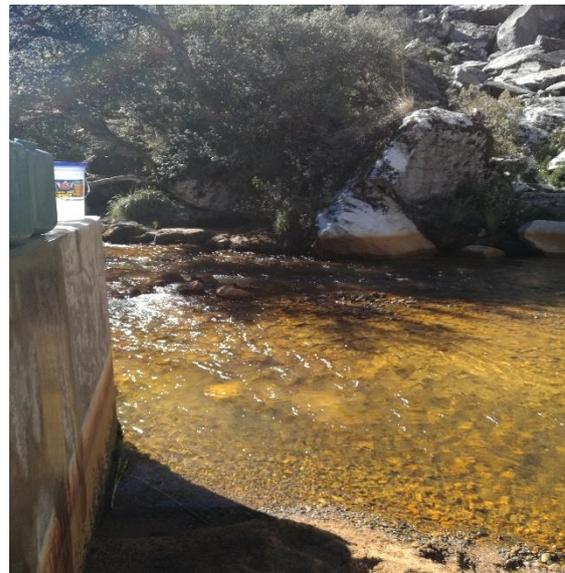
ANEXO 6

Panel fotográfico





Muestreo del DAR rio Shallap (afluente).



Punto de recolección del agua del DAR del rio Shallap para los sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico.



Propagación de la especie *Juncus articus*.



Propagación de la especie *Juncus bufonius*.



Propagación de la especie *Calamagrostis ligulata*.



Propagación de la especie *Calamagrostis ovata*.



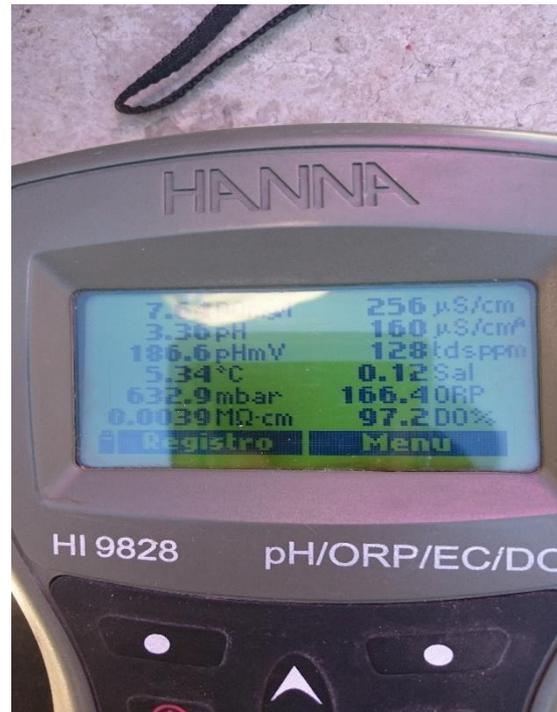
Propagación de la especie *Distichia sp.*



Especies vegetales instaladas en el invernadero.



Recolección de la Turba en el centro de investigación y experimentación de Tuyu Ruri de la UNASAM.



Medición del pH y conductividad en el DAR del río Shallap con equipo del laboratorio de calidad ambiental de la FCAM UNASAM (pH 3.36).



Punto de recolección de agua del DAR del río Shallap (afluente) y muestreo del pH y conductividad.



Medición del pH con cintillo antes de introducir el agua al sistema piloto de fitorremediación anaeróbica (indica un promedio de 3).



Recolección y siembra de las BSR en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM UNASAM.



Propagación de especies vegetales en el invernadero.



Selección de especies vegetales para ser introducidas al sistema piloto de fitorremediación.



Implementación del sistema piloto de fitorremediación anaeróbica.



Los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico instalados.



Realización de la poda en la parte aérea de las especies vegetales.



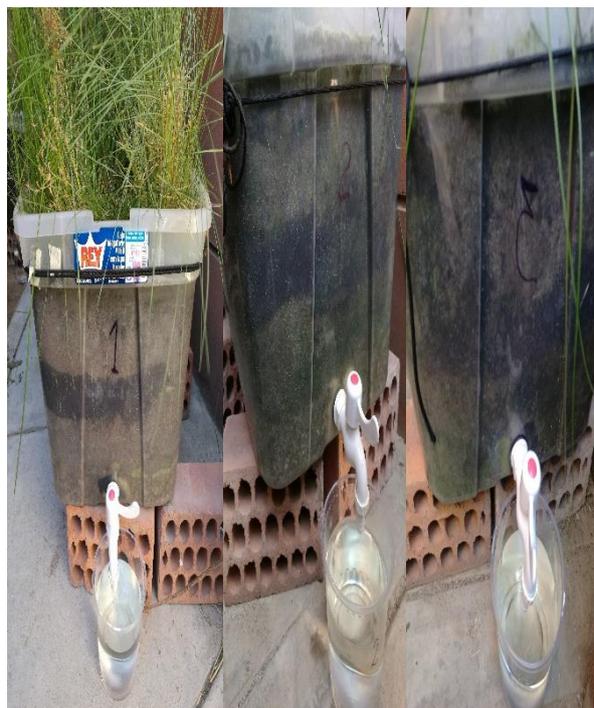
Material de la poda de las especies vegetales que se recolecto.



Sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico con vigorosidad después de la recuperación de la poda.



Muestreo del pH y la conductividad.



Toma de muestras de agua para el pH y conductividad del efluente de los 3 sistemas piloto de fitorremediación.



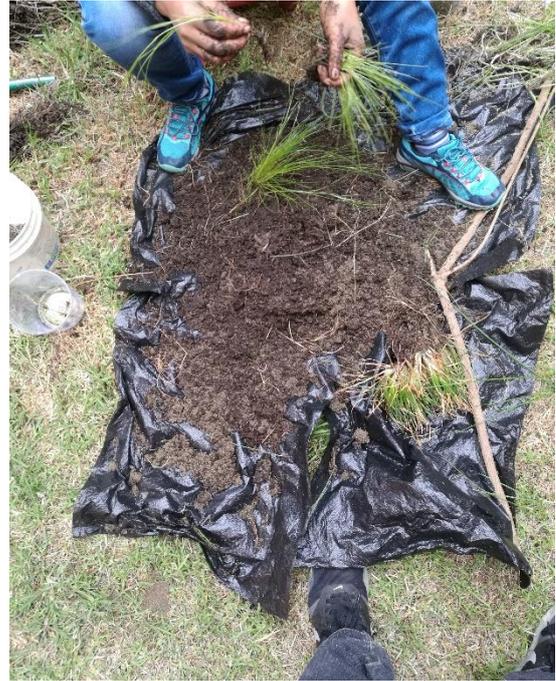
Muestras para el laboratorio para el análisis de metales totales en el efluente.



Toma de muestras para el análisis de metales totales en el efluente .



Recolección de muestras de tejido vegetal de los 3 sistemas pilotos de fitorremediación anaeróbico instalados.



Separación y selección de las especies vegetales.



Evidencia de las BSR colonizadas en la parte radicular de la *Calamagrostis ovata*.



Presencia de metales inmovilizados en la parte radicular de la *Calamagrostis ligulata*.



Recolección de muestras de *Juncus articus* y *Calamagrostis ligulata* para el análisis de metales totales en tejido vegetal.



Recolección de muestras de *Distichia sp*, *Juncus bufonius* y *Calamagrostis ovata* para el análisis de metales totales en tejido vegetal.



Muestras de *Juncus articus* y *Calamagrostis ligulata* para ser enviadas al laboratorio para el análisis de metales totales en tejido vegetal.



Muestras de *Distichia sp*, *Juncus bufonius* y *Calamagrostis ovata* para el análisis de metales totales en tejido vegetal.



Recolección de sedimentos de los 3 sistemas pilotos de fitorremediación anaeróbico instalados.



Tamizado de material recolectado pasado por el tamiz nº200 para las muestras de sedimento.



Muestras de sedimento de los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico para ser enviadas al laboratorio para el análisis de metales totales en suelo.



Muestras de Turba de los 3 sistemas piloto de fitorremediación anaeróbico para ser enviadas al laboratorio para el análisis de metales totales en suelo.