



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA
***Schoenoplectus californicus (Tatora)* PARA REMOCIÓN**
DE ARSÉNICO Y BORO MEDIANTE HUMEDALES DE
FLUJO HORIZONTAL IN VITRO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

MIRANDA CHAMBI, ESTEFANY

ASESOR:

MÓNZON MARTINEZ, LALO JOSÉ

AREQUIPA - PERÚ

2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios a mis padres Gregorio y Eusebia, en especial a mí amada madre ya que sin su apoyo infinito no habría logrado mis objetivos profesionales y por haberme dado su apoyo incondicional, a mi hermana Ruth y a Julio; que me apoyaron durante el desarrollo de la tesis.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y aquellas personas que me orientaron, dieron recomendaciones y por brindarme todo su apoyo en la elaboración de la presente tesis.

1. Gregorio Miranda Mamani.
2. Eusebia Chambi Ccama.
3. Economista Ruth Yaquelin Miranda Chambi.
4. Mg. Lalo José Monzón Martínez.
5. Ing. Julio Cesar Quispe Lozano.
6. Ing. Oshin Hanco Carrasco.
7. Mg. Victor Godoy.
8. Mg. Sonia Yufra.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
GLOSARIO DE ABREVIATURA.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE ECUACIONES.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Caracterización de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Objetivo general	3
1.3.1. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Importancia.....	4
1.6. Limitaciones	5
CAPÍTULO II	6
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Marco referencial	6
2.1.1. Antecedentes de la investigación	6
2.2. Marco legal.....	7
2.2.1. Ley	7
2.2.1.1. Constitución Política del Perú de 1993	7
2.2.1.2. Ley General del Ambiente (Ley N° 28611).....	7
2.2.1.3. Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)	8

2.2.1.4.	Reglamento de la ley de Recurso Hídricos (Ley 29338)	8
2.2.1.5.	Reglamento de calidad de agua para consumo humano (D.S. N°031-2010-SA)	8
2.2.1.6.	Estándares Nacionales de Calidad ambiental para agua y disposiciones complementarias (D.S. N° 004-2017- MINAM)	9
2.3.	Marco conceptual	10
2.3.1.	Agua	10
2.3.2.	Aguas subterráneas	10
2.3.3.	Aguas superficiales	10
2.3.4.	Fitorremediación	10
2.3.5.	Totora	10
2.3.6.	Metales pesados	11
2.3.7.	Arsénico	11
2.3.8.	Boro	11
2.3.9.	Humedales	12
2.3.9.1.	Humedales artificiales	12
2.4.	Marco teórico	12
2.4.1.	Agua	12
2.4.2.	Contaminación del agua	13
2.4.2.1.	Fuentes de contaminación	13
2.4.3.	Parámetros fisicoquímicos	13
2.4.3.1.	pH	13
2.4.3.2.	Temperatura	14
2.4.3.3.	Oxígeno disuelto	14
2.4.3.4.	Conductividad eléctrica	14
2.4.3.5.	Turbidez	15
2.4.3.6.	Demanda química de oxígeno (DQO)	15
2.4.3.7.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	15
2.4.3.8.	Sólidos suspendidos totales	16
2.4.3.9.	Dureza	16
2.5.	Arsénico	16
2.5.1.	Normatividad	17
2.5.2.	Compuestos de arsénico	18
2.5.2.1.	Compuestos inorgánicos	18
2.5.2.2.	Compuestos Orgánicos	19
2.5.3.	Disponibilidad del arsénico en función del pH	20
2.5.4.	Fuentes de exposición	20
2.5.4.1.	Consumo de As en el agua a nivel mundial	21

2.5.4.2. Procesos industriales	21
2.5.5. Efectos en la salud	22
2.5.5.1. Efectos agudos.....	22
2.5.5.2. Efectos a largo plazo	22
2.5.6. Efectos ambientales del Arsénico	23
2.6. Boro.....	25
2.6.1. Normatividad	26
2.6.2. Disponibilidad del boro en función del pH.....	27
2.6.3. Efectos del boro sobre la salud	27
2.6.3.1. Efectos secundarios	28
2.6.4. Efectos ambientales del Boro.....	28
2.7. Fitorremediación	28
2.7.1. Tipos de fitorremediación	29
2.7.1.1. Fitoestabilización	29
2.7.1.2. Fitoextracción.....	29
2.7.1.3. Fitotransformación	30
2.7.1.4. Fitovolatilización.....	30
2.7.1.5. Rizofiltración.....	30
2.7.1.6. Fitoestimulación	31
2.7.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación.....	32
2.7.3. Sistemas de fitorremediación acuática.....	33
2.7.3.1. Sistemas de tratamiento con plantas acuáticas flotantes	33
2.7.3.2. Humedales artificiales	33
2.7.3.3. Sistemas de tratamiento integral	33
2.7.3.4. Sistema de rizofiltración.....	33
2.7.4. Tipos de plantas acuáticas.....	33
2.7.4.1. Emergentes	34
2.7.4.2. Flotantes	34
2.7.4.3. Sumergidas	34
2.7.5. Criterios de selección de plantas para la fitorremediación	35
2.7.6. Mecanismos de resistencia a los metales pesados	35
2.7.7. Métodos para estimar los factores de tolerancia a los metales del agua en las plantas	36
2.8. Humedales.....	38
2.8.1. Humedales artificiales.....	38
2.8.1.1. Componentes de los humedales artificiales	39
2.8.1.2. Tipos de humedales.....	39

2.9.	Totora (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	46
2.9.1.	Taxonomía	46
2.9.1.1.	Variedades	47
2.9.2.	Características morfológicas	47
2.9.2.1.	Raíz.....	48
2.9.2.2.	Rizoma	48
2.9.2.3.	Tallo	49
2.9.2.4.	Xilema	49
2.9.2.5.	Floema.....	49
2.9.2.6.	Inflorescencia	50
2.9.2.7.	Reproducción	50
2.9.3.	Capacidad depuradora de la totora.....	51
2.9.4.	Adaptación de la totora	51
2.9.5.	Mecanismo de fitorremediación de la totora	51
2.9.5.1.	Fitoestabilización	51
2.9.5.2.	Fitoextracción.....	52
2.9.6.	Mecanismos de tolerancia a los metales pesados	52
2.9.7.	Usos.....	52
2.9.7.1.	Alimenticio.....	52
2.9.7.2.	Medicinal.....	53
2.9.7.3.	Artesanal.....	53
2.9.7.4.	Construcción.....	53
2.9.7.5.	Forraje	53
CAPÍTULO III.....	54	
3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	54	
3.1.	Metodología	54
3.1.1.	Método	54
3.1.2.	Ubicación geográfica	54
3.1.3.	Materiales.....	55
3.1.3.1.	Material biológico	55
3.1.3.2.	Materiales para adaptación de <i>Schoenoplectus californicus</i> y para el método humedal de flujo horizontal in-vitro	55
3.1.3.3.	Reactivos	55
3.1.3.4.	Materiales de laboratorio.....	55
3.1.3.5.	Equipos.....	56
3.1.3.6.	Otros materiales.....	56

3.1.4.	Metodología de la investigación	57
3.1.4.1.	Recolección de <i>Schoenoplectus californicus</i>	57
3.1.4.2.	Selección y adaptación de la especie.....	57
3.1.5.	Preparación de soluciones.....	58
3.1.5.1.	Exposición de la totora a los contaminantes de As y B	61
3.1.6.	Diagrama de flujo del proceso de experimentación del humedal del flujo horizontal in vitro.	63
3.1.7.	Tipo de la investigación	63
3.1.8.	Nivel de la investigación.....	63
3.2.	Diseño de la investigación.....	64
3.2.1.	Esquematación del diseño de investigación.....	64
3.2.2.	Representación del diseño con las concentraciones de As y B en humedales de flujo horizontal in vitro.....	65
3.3.	Hipótesis de la investigación.....	66
3.3.1.	Hipótesis general.....	66
3.3.2.	Hipótesis específicas	66
3.4.	Variables.....	66
3.4.1.	Variable independiente	66
3.4.2.	Variable dependiente	66
3.4.3.	Variable interviniente.....	67
3.4.4.	Operacionalización de las variables	67
3.5.	Cobertura del Estudio.....	67
3.5.1.	Población.....	67
3.5.2.	Muestra	67
3.5.3.	Muestreo	68
3.6.	Técnicas e instrumentos	68
3.6.1.	Técnicas de la investigación	68
3.6.2.	Instrumentos de la investigación.....	68
3.6.3.	Fuentes	68
3.7.	Procesamiento estadístico de la información	69
3.7.1.	Estadísticos	69
3.7.2.	Representación.....	69
3.7.3.	Técnica de comprobación de la hipótesis	69
CAPÍTULO IV		70
4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		70
4.1.	Resultados	70
4.1.1.	Determinación de la tolerancia de <i>Schoenoplectus californicus</i> al As y B.....	70
4.1.2.	Determinación de los parámetros físicoquímicos (pH, conductividad, temperatura) de la exposición de <i>Schoenoplectus californicus</i> en humedal de flujo horizontal in vitro.	72

4.1.3.	Determinación de la capacidad de remoción de metales pesados (As y B) por la <i>Schoenoplectus californicus</i> .	75
4.1.4.	Determinación de la capacidad fitorremediadora de <i>Schoenoplectus californicus</i> para el As y B	77
4.2.	Análisis económico	79
4.2.1.	Presupuesto del humedal de flujo horizontal in vitro	79
4.2.2.	Estimación de presupuesto de la construcción e implementación del humedal de flujo horizontal in vivo	80
4.3.	Discusión de resultados	82
4.3.1.	Determinación de tolerancia de <i>Schoenoplectus californicus</i> al As y B.	82
4.3.2.	Determinación de parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura) de la exposición de <i>Schoenoplectus californicus</i> en humedal de flujo horizontal in vitro...	83
4.3.3.	Determinación de la capacidad de remoción de metales pesados (As y B) por la <i>Schoenoplectus californicus</i> .	84
4.3.4.	Determinación de la capacidad fitorremediadora de la especie <i>Schoenoplectus californicus</i> para metales pesados (As y B).	85
4.4.	Contrastación de Hipótesis	86
4.4.1.	Determinación de la tolerancia de la especie <i>Schoenoplectus californicus</i> al As y B.	86
4.4.2.	Determinación de los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura) de la exposición de <i>Schoenoplectus californicus</i> en humedal de flujo horizontal in vitro.	88
4.4.3.	Determinación de la capacidad de remoción de metales pesados (As y B) por la especie <i>Schoenoplectus californicus</i>	91
4.4.4.	Determinación de la capacidad fitorremediadora de (As y B) de la especie <i>Schoenoplectus californicus</i> .	93
CONCLUSIONES		95
RECOMENDACIONES		96
BIBLIOGRAFÍA		97
ANEXOS		102
	ANEXO N° 1: Diagrama lineal de remoción para As y B	104
	ANEXO N° 2: Cálculo de Evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves	106
	ANEXO N° 3: Normas ambientales para agua	109
	ANEXO N° 4: Medición de As, B y parámetros fisicoquímicos	116
	ANEXO N° 5: Registros fotográficos	116
	ANEXO N° 6: Análisis de laboratorio	127
	ANEXO N° 7: Fichas técnicas	136
	ANEXO N° 8: Disposición final para los residuos de la fitorremediación	144

GLOSARIO DE ABREVIATURA

As	: Arsénico
ANA	: Autoridad Nacional del Agua
B	: Boro
CE	: Conductividad Eléctrica
DBO	: Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	: Demanda Química de Oxígeno
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental
FBC	: Factor de Bioconcentración
FT	: Factor de Traslocación o Transferencia
FBA	: Factor de Bioacumulación
HFS	: Humedales de Flujo Superficial
MINAM	: Ministerio del Ambiente
MINSA	: Ministerio de Salud
pH	: Potencial de hidrógeno

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Unidades hidrográficas bajo tambo	2
Tabla 2 Concentración máxima de arsénico establecidas según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Reglamento de calidad de agua para el consumo humano(MINSA).....	17
Tabla 3 Estándares de calidad Ambiental para agua (DS. 004 -2017-MINAM).....	18
Tabla 4 Países con contenido de As en aguas subterráneas.....	21
Tabla 5 Concentración máxima de boro establecidas según la Organización Mundial de la Salud y reglamento de calidad de agua para el consumo humano(MINSA)	26
Tabla 6 Estándares de calidad ambiental para agua (DS 004-2017)	26
Tabla 7 Ventajas y desventajas de la fitorremediación.....	32
Tabla 8 Taxonomía de <i>Schoenoplectus californicus</i> (Totora)	47
Tabla 9 Capacidad depuradora de la <i>Schoenoplectus californicus</i>	51
Tabla 10 Composición elemental de As	59
Tabla 11 Composición elemental de Bórax ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_7(\text{OH})_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).....	60
Tabla 12 Diseño y codificación de los tratamientos de As y B	65
Tabla 13 Operacionalización de variables	67
Tabla 14 Capacidad fitorremediadora de la especie <i>Schoenoplectus californicus</i> para arsénico en humedal de flujo horizontal in vitro.....	77
Tabla 15 Capacidad fitorremediadora de la especie <i>Schoenoplectus californicus</i> para boro en humedal de flujo horizontal in vitro.....	78
Tabla 16 Presupuesto del diseño experimental del Humedal de Flujo Horizontal- In Vitro...	79
Tabla 17 Estimación de costos por actividad de la construcción e implementación del Humedal de Flujo Horizontal in vivo	80
Tabla 18 Estimación de gastos generales realizados anualmente del Humedal de Flujo Horizontal in vivo	81
Tabla 19 Estimación del mantenimiento anual del Humedal de Flujo Horizontal in vivo.....	81
Tabla 20 Estimación de costo total del Humedal de Flujo Horizontal in vivo	81
Tabla 21 ANOVA- Supervivencia de individuos en función del tiempo	86
Tabla 22 ANOVA- Número de brotes según el tiempo.....	87
Tabla 23 ANOVA- Determinación de pH en función del tiempo	88
Tabla 24 ANOVA- Determinación de CE en función del tiempo	89
Tabla 25 ANOVA- Determinación de temperatura en función del tiempo	90
Tabla 26 ANOVA-Remoción de arsénico (As).....	91
Tabla 27 ANOVA- Remoción de B.....	92
Tabla 28 ANOVA- Capacidad fitorremediadora de la <i>Schoenoplectus californicus</i> para As.	93
Tabla 29 ANOVA - Capacidad fitorremediadora de la <i>Schoenoplectus californicus</i> para B..	94
Tabla 30 Radiación solar extraterrestre en mm/día	108
Tabla 31 Cantidad de remoción de As y B en el agua.....	116
Tabla 32 Medición del pH en el mes de octubre	117
Tabla 33 Medición de pH en los meses de noviembre, diciembre	117
Tabla 34 Medición de la conductividad en el mes de octubre	118
Tabla 35 Medición de la conductividad en los meses de noviembre, diciembre.....	118
Tabla 36 Medición del tiempo en el mes de octubre	119
Tabla 37 Medición del tiempo en los meses de noviembre, diciembre	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arsénico.....	17
Figura 2 Porcentaje de As absorbido en relación con pH del medio	20
Figura 3 Boro	25
Figura 4 Grado de disponibilidad de micronutrientes en función del pH.....	27
Figura 5 Comparación entre la fitoestabilización y la fitoextracción	29
Figura 6 Tipos de fitorremediación.....	31
Figura 7 Tipos de plantas según su comportamiento al incremento de concentración en el suelo de elementos traza	36
Figura 8 Humedal de flujo superficial	40
Figura 9 Representación 3D de un humedal de flujo horizontal superficial.....	40
Figura 10 Medio granular- grava	41
Figura 11 Totora	42
Figura 12 Humedales de flujo subsuperficial de flujo horizontal.....	44
Figura 13 Humedal de flujo subsuperficial vertical.....	45
Figura 14 Totorales del Lago Titicaca	46
Figura 15 Raíz (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	48
Figura 16 Rizoma (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	48
Figura 17 Tallo (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	49
Figura 18 Corte longitudinal del xilema y floema en la totora	50
Figura 19 Inflorescencia (<i>Schoenoplectus californicus</i>).....	50
Figura 20 Puno – llave.....	54
Figura 21 Selección de la especie	58
Figura 22 Diagrama de flujo del proceso de experimentación	63
Figura 23 Unidad experimental de trabajo.....	64
Figura 24 Sobrevivencia de individuos de <i>Schoenoplectus californicus</i> expuesta a diferentes concentraciones de As y B en Humedal de flujo horizontal in vitro.	70
Figura 25 Promedio de brotes por unidad experimental de individuos de <i>Schoenoplectus californicus</i> expuesta a diferentes concentraciones de As y B en humedal de flujo horizontal in vitro.....	71
Figura 26 Variación de pH en función de tiempo de <i>Schoenoplectus californicus</i> expuesta a diferentes concentraciones de As y B en humedal de flujo horizontal in vitro.	72
Figura 27 Variación de conductividad eléctrica en función de tiempo de <i>Schoenoplectus californicus</i> expuesta a diferentes concentraciones de As y B en humedal de flujo horizontal in vitro.....	73
Figura 28 Variación de temperatura de tiempo de <i>Schoenoplectus californicus</i> expuesta a diferentes concentraciones de As y B en humedal de flujo horizontal in vitro.	74
Figura 29 Remoción de As del agua en función de tiempo y concentración.....	75
Figura 30 Remoción de B del agua en función de tiempo y concentración	76
Figura 31 Remoción de As en función del factor tiempo	104
Figura 32 Remoción de As en función del factor dosis	104
Figura 33 Remoción de B en función del factor tiempo.....	105
Figura 34 Remoción de B en función del factor dosis.....	105
Figura 35 Estándar de calidad ambiental , categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	109

Figura 36 Estándar de calidad ambiental , categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	110
Figura 37 Reglamento de calidad de agua para consumo humano – parámetros organolépticos	111
Figura 38 Reglamento de calidad de agua para consumo humano – parámetros químicos inorgánicos.....	111
Figura 39 Recolección de la especie <i>Schoenoplectus californicus</i>	116
Figura 40 Selección de la especie <i>Schoenoplectus californicus</i>	116
Figura 41 Grava de 1.5 cm de diámetro.....	116
Figura 42 Grava para la adaptación de <i>Schoenoplectus californicus</i>	117
Figura 43 Enraizante Root Hor	117
Figura 44 Adaptación de <i>Schoenoplectus californicus</i>	117
Figura 45 Adaptación de <i>Schoenoplectus californicus</i>	118
Figura 46 Peso de grava para el diseño de Humedal de flujo horizontal in vitro	118
Figura 47 Peso de concentraciones de As y B	118
Figura 48 Concentraciones alta y media de As y B.....	119
Figura 49 Preparación de la solución madre.....	119
Figura 50 Medición de pH.....	119
Figura 51 Medición del crecimiento de la planta.....	120
Figura 52 Observación de brotes <i>Schoenoplectus californicus</i>	120
Figura 53 Observación del agua con el tratamiento de As y B.....	120
Figura 54 Diseño de humedal de flujo horizontal in-vitro.....	121
Figura 55 Diseño de humedal de flujo horizontal in- vitro.....	121
Figura 56 Medición de pH con Multiparámetro (modelo PC TERST 35, marca WATERPROOF).....	121
Figura 57 Florescencia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	122
Figura 58 Materiales para la primera toma de muestra del tratamiento de As y B en el agua	122
Figura 59 Recolección de muestra para laboratorio del tratamiento de As, B en el agua	122
Figura 60 Recolección de muestra para laboratorio del tratamiento de As, B en el agua	123
Figura 61 Toma de muestras en agua del primer tratamiento de As, B.....	123
Figura 62 Materiales para la segunda toma de muestras en agua del tratamiento de As y B	123
Figura 63 Recolección de la segunda toma de muestras del tratamiento de As y B en el agua	124
Figura 64 Toma de muestras del segundo tratamiento de As y B en el agua	124
Figura 65 Observación del enraizamiento de <i>Schoenoplectus californicus</i>	124
Figura 66 Recolección de toma de muestras - Tallo- Raíz	125
Figura 67 Recolección de toma de muestra - Tallo-Raíz.....	125
Figura 68 Toma de muestra (Tallo) del tratamiento de As y B	125
Figura 69 Toma de muestra (Raíz) del tratamiento de As y B	126
Figura 70 Toma de muestras de tallo – raíz del tratamiento de As y B.....	126
Figura 71 Toma de muestras tallo-raíz del tratamiento de As y B	126
Figura 72 Constancia de determinación de Muestra N°0.19-2018	127
Figura 73 Solicitud de acceso a la información pública- monitoreo participativo de calidad de agua superficial en la cuenca tambo (I-VIII)	128

Figura 74 Primer Informe de ensayo Laboratorio Analítico del Sur (LAS) para determinación de metales en agua, acreditado por INACAL	129
Figura 75 Segundo Informe de ensayo Laboratorio Analítico del Sur (LAS) para determinación de metales en agua, acreditado por INACAL	130
Figura 76 Segundo Informe de ensayo Laboratorio Analítico del Sur (LAS) para determinación de metales en agua, acreditado por INACAL	131
Figura 77 Segundo Informe de ensayo Laboratorio Analítico del Sur (LAS) para determinación de metales en agua, acreditado por INACAL	132
Figura 78 Informe de ensayo Laboratorio Certificaciones del Perú (CERPER) para determinación de metales en Tallo- Raíz , acreditado por INACAL.....	133
Figura 79 Informe de ensayo Laboratorio Certificaciones del Perú (CERPER) para determinación de metales en Tallo- Raíz , acreditado por INACAL.....	134
Figura 80 Informe de ensayo Laboratorio Certificaciones del Perú (CERPER) para determinación de metales en Tallo- Raíz, acreditado por INACAL.....	135
Figura 81 Ficha técnica enraizante Root - Hor	136
Figura 82 Ficha técnica enraizante Root - Hor	137
Figura 83 Ficha técnica enraizante – Manvert NPK.....	138
Figura 84 Ficha técnica enraizante – Manvert NPK.....	139
Figura 85 Ficha técnica de Seguridad Química del As.....	140
Figura 86 Ficha técnica de Seguridad Química del As.....	141
Figura 87 Ficha técnica de Seguridad Química del B.....	142
Figura 88 Ficha técnica de Seguridad Química del B.....	143
Figura 89 Hornos de incineración.....	144
Figura 90 Celdas de seguridad.....	145

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Factor de bioacumulación	37
Ecuación 2 Factor de bioconcentración	37
Ecuación 3 Factor de traslocación	37
Ecuación 4 Evapotranspiración potencial	106

RESUMEN

El arsénico (As) y el boro (B) han sido identificados como uno de los elementos perjudiciales para la salud de las personas. En el Perú la contaminación por As y B aumentó en los últimos años principalmente en las regiones del sur del país.

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito fundamental evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie vegetal *Schoenoplectus californicus* (Totora) para la remoción de arsénico (As) y boro (B) mediante el método de humedales de flujo horizontal in-vitro. De esta forma determinar la tolerancia (sobrevivencia y regeneración), determinar los parámetros físicoquímicos (pH, conductividad, temperatura), determinar la capacidad de remoción de As, B y determinar la capacidad fitorremediadora para As y B.

El diseño de investigación es experimental del tipo cuasi experimental debido a que contó con un grupo control y con grupos experimentales. El diseño consistió en 2 fases: adaptación con una duración 2 semanas y el tratamiento con una duración de 2 meses, que consistió en la realización mediante 2 grupos experimentales de As (0.8 mg/l - 0.4 mg/l), B (25mg/l - 15mg/l) y con un grupo control, en el cual todos los recipientes contaban con 18 individuos de totora.

De los resultados obtenidos en la investigación, se obtuvo una alta tolerancia con una sobrevivencia de 98% y 93% en la concentración media y alta respectivamente, en la regeneración representada por brotes se obtuvo 23 unidades (85%) y 21 unidades (78%) en la concentración media y alta respectivamente. En el pH se presentó un rango de 8 a 9.5, en la conductividad presento un rango de 300 a 800 uS/cm y en la temperatura de 26.9°C a 28.5°C. La capacidad de remoción de arsénico fue del 64 % (concentración media) y para el Boro 61 % (concentración alta). La capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* se determinó mediante el factor de bioacumulación, factor de bioconcentración y factor de traslocación, el cual con el As se comporta como una planta fitoestabilizadora que concentra el As en la raíz y con el B se comporta como una planta fitoextractora que concentra el B en el tallo. Finalmente, se concluyó que la implementación de un humedal de flujo horizontal usando la especie *Schoenoplectus californicus* debería ser considerado como una alternativa técnicamente viable para la remoción de arsénico y boro.

Palabras clave: Arsénico, boro, fitorremediación, humedales de flujo horizontal, *Schoenoplectus californicus*, tolerancia.

ABSTRACT

Arsenic (As) and boron (B) have been identified as one of the harmful elements for people's health. In Peru, pollution by As and B has increased in recent years, mainly in the southern regions of the country.

The main purpose of this research work was to evaluate the phytoremediation capacity of the plant species *Schoenoplectus californicus* (Tatora) for the removal of arsenic (As) and boron (B) by means of the in-vitro horizontal flow wetland method. In this way determine the tolerance (survival and regeneration), determine the chemical physical parameters (pH, conductivity, temperature), determine the capacity of As, B removal and determine the phytoremediation capacity for As and B.

The research design is experimental of the quasi-experimental type because it had a control group and experimental groups. The design consisted of 2 phases: adaptation with a duration of 2 weeks and treatment with a duration of 2 months, which consisted of carrying out 2 experimental groups of As (0.8 mg / l - 0.4 mg / l), B (25mg / l - 15mg / l) and with a control group, in which all the recipients had 18 totora individuals.

From the results obtained in the investigation, a high tolerance was obtained with a survival of 98% and 93% in the medium and high concentration, respectively. In the regeneration represented by outbreaks, 23 units (85%) and 21 units (78%) were obtained. In the middle and high concentration respectively. In the pH a range of 8 to 9.5 was presented, in the conductivity it presented a range of 300 to 800 uS / cm and in the temperature of 26.9 ° C to 28.5 ° C. The arsenic removal capacity was 64% (mean concentration) and for Boron 61% (high concentration). The phytoremediation capacity of the species *Schoenoplectus californicus* was determined by the bioaccumulation factor, bioconcentration factor and translocation factor, which with the As behaves like a phytostabilizing plant that concentrates the As in the root and with the B behaves like a phytoextractor plant that concentrates the B in the stem. Finally, it was concluded that the implementation of a horizontal flow wetland using the species *Schoenoplectus californicus* should be considered as a viable technically alternative for the removal of arsenic and boron.

Key words: Arsenic, boron, phytoremediation, horizontal flow wetlands, *Schoenoplectus californicus*, tolerance.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la contaminación ha aumentado en los últimos años, por diferentes factores, uno de los mayores contaminantes son los químicos orgánicos e inorgánicos que se encuentran en el suelo y en el agua, afectando a la salud de las personas. El arsénico (As) y el boro (B) han sido identificados como uno de los elementos más perjudiciales para los animales y la salud de las personas. Se han reportado casos de intoxicación en países como Canadá, Estados Unidos, México, El salvador, Nicaragua, Chile, Argentina, Bolivia y Perú.

El arsénico (As) y el boro (B) al ser solubles en el agua son fácilmente absorbidos por las personas debido a que estos contaminantes en su mayoría se encuentran disueltos en aguas subterráneas y aguas superficiales, además que son bebidos por los animales y absorbidos por las plantas y son consumidas por las personas generando diferentes tipos de enfermedades como melanosis, queratosis, cáncer (piel, vejiga, riñón y pulmón), hipertensión arterial, trastornos reproductivos, diabetes, deficiencia en el desarrollo intelectual de los niños (Trelles Bautista , 2013).

En el Perú la contaminación por arsénico y boro ha ido aumentando en los últimos años en las regiones de Puno, Tacna, Arequipa y Moquegua, esta contaminación tiene un origen litológico proveniente de las partes altas de estas regiones afectando a la salud de las personas y a su economía.

Para la remoción del arsénico y el boro se han utilizado diferentes métodos como coagulación, floculación, ablandamiento con cal, estos métodos no son del todo eficaces, pero pueden llegar a tener un gran costo para su implementación. En los últimos años las técnicas de fitorremediación han ido aumentando, debido a que tienen un costo menor.

En la actualidad la fitorremediación es una de las técnicas más compatibles con el medio ambiente debido al uso que les da a las plantas ya que están absorben diferentes sustancias que hay en el medio ambiente. La fitorremediación incorporada al método de humedales artificiales de flujo horizontal aumenta la eficiencia de remoción de los diversos contaminantes mejorando la calidad de vida de las personas.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Caracterización de la realidad problemática

El arsénico (As) y boro (B) son contaminantes que se encuentran en todo el planeta en sus diferentes formas. Actualmente se estima que aproximadamente 30 millones de personas mundialmente son afectadas, en los países de América Latina aproximadamente 4.8 millones de personas se encuentran expuestas a arsénico y boro en el agua, siendo los países más afectados en América Latina; Argentina, Chile, México, El Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia. La mayoría de los factores de contaminación se deben a origen natural por la cordillera de los andes, en el caso de Argentina, Bolivia, Chile y Perú. La contaminación se ha elevado debido a las actividades humanas o antropogénicas como la explotación de minerales. (Trelles Bautista , 2013), (Alberto Walter, 2016)

La organización mundial de la salud (OMS) recomienda los niveles para el agua de consumo humano, una concentración no mayor de 0,01mg/l de As y 0.05 mg/l de B. En Perú, de acuerdo al reglamento de calidad de agua para consumo humano del ministerio de salud (MINSA) en el D.S. 031-2010-SA recomienda 0,01mg/l de As, 1,5 mg/l de B.

En el Perú la contaminación por As y B ha afectado a la salud de la población, se estima que el número de personas expuestas supera a las 250 mil personas. La contaminación se ha dado en el sur del país por origen natural relacionada a la actividad volcánica de las regiones de Tacna, Moquegua, Puno y Arequipa. La contaminación por la actividad humana se ha reportado en los departamentos de Huancavelica y Junín debido a la explotación de plomo, plata, cobre y zinc el cual se identificaron concentración de hasta 462 µg/l de arsénico total. (Trelles Bautista, 2013)

En la cuenca del río Tambo se presenta una contaminación, de la cual se identificaron cincuenta y nueve (59) fuentes contaminantes, de los cuales 37 pertenecen al sector saneamiento, siete (07) al sector industrial, diez (10) son botaderos de residuos sólidos y cinco (05) son pasivos mineros , el agua presenta

contaminantes como el arsénico y boro que exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) según las evaluaciones realizadas tendría un origen litológico. (ANA, 2018)

De acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) “En Arequipa la contaminación por arsénico y boro en el río Tambo presenta niveles elevados de boro, arsénico, sulfatos, sodio y conductividad eléctrica, en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de categoría III (Riego de vegetales y bebidas de animales), la contaminación por metales tiene un origen litológico” (ANA, 2018). Debido a los altos niveles de contaminantes estas aguas originan que los cultivos tengan niveles elevados de boro y arsénico, originando contaminación en el agua y una baja calidad de los cultivos.

Tabla 1 Unidades hidrográficas bajo tambo

Parámetro	Unidad	Punto de muestreo ANA (13/10/2017)			Categoría ECA D.S. N°004-2017- MINAM	
		1318R Tamb6	1318R Tamb7	1318R Tamb8	Riego de vegetales	Bebida de animales
Caudal	l/s	6600	1600	1420	----	-----
Arsénico	mg/l	0.283	0.261	0.204	0.1	0.2
Boro	mg/l	5.151	5.385	5.673	1	5

Fuente: (ANA, 2018)

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para la remoción de arsénico y boro mediante humedales de flujo horizontal in vitro?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo determinar la tolerancia de la especie *Schoenoplectus californicus* al As y B?

2. ¿Cómo determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura) de la exposición de *Schoenoplectus californicus* en humedal de flujo horizontal in vitro?
3. ¿Cuál es la capacidad de remoción de As y B por la especie *Schoenoplectus californicus*?
4. ¿Cuál es la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para el As y B?

1.3. Objetivo general

Evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para la remoción de arsénico y boro mediante el método de humedales de flujo horizontal in vitro.

1.3.1. Objetivos específicos

1. Determinar la tolerancia de la especie *Schoenoplectus californicus* al As y B.
2. Determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura) de la exposición de *Schoenoplectus californicus* en humedal de flujo horizontal in vitro.
3. Determinar la capacidad de remoción de As y B por la especie *Schoenoplectus californicus*.
4. Determinar la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para el As y B

1.4. Justificación

Los contaminantes As y B al estar disueltos en el agua traen problemas de salud al estar a una exposición prolongada en distintas concentraciones. Según OMS, (2006) indica que: “Trae consigo enfermedades como la melanosis, queratosis, cáncer (piel, vejiga, riñón y pulmón), hipertensión arterial, trastornos reproductivos, diabetes, deficiencia en el desarrollo intelectual de los niños”.

En Arequipa la contaminación por As y B es una de las mayores preocupaciones en el valle de tambo debido a que la contaminación afecta a los animales, las plantas y a la salud de los pobladores. Según el último monitoreo realizado por la ANA en los ECA'S de riego de vegetales y la bebida de animales tienen niveles de boro 5.673 mg/l y arsénico 0.204 mg/l, (ANA, 2018) superando los ECA categoría III para el riego de vegetales en As 0.1 mg/l y B 1 mg/l ; en bebida de animales As 0.2 mg/l y B 5 mg/l (D.S. N°004-2017- MINAM).

En la agricultura los niveles elevados del As y B hacen que las plantas absorban las sustancias teniendo como consecuencia la pérdida de cosecha y la devolución de los productos en los mercados externos. Ante este problema es necesario dar una solución a la contaminación que se viene registrando es por ello el desarrollo de esta tesis realizando un tratamiento de aguas mediante humedales de flujo horizontal aplicando la fitorremediación usando la especie totora (*Schoenoplectus californicus*), este tratamiento permite la remoción del As y el B el cual permitirá mejorar la calidad de los productos y la calidad de vida de los organismos.

Esta investigación es una alternativa ecológica y económica debido a que la materia prima no es costosa, y es accesible para el tratamiento de remoción de As y B.

1.5. Importancia

La presente tesis constituye una propuesta de solución para la contaminación de As y B que debido a su solubilidad presente en aguas superficiales y subterráneas son ingeridas por las personas, absorbida por las plantas y son bebidas por los animales; generando enfermedades a las personas debido a la alta toxicidad de estas sustancias dañinas para el cuerpo humano.

En diversas partes del país se ha presentado contaminación por origen natural o antropogénico y en especial para la región Arequipa que presenta niveles elevados de As y B, es por ello que se planteó dar una solución ecológica y económica a la contaminación de As y B por medio de la totora en humedales de flujo horizontal además de la necesidad de producir información científica sobre el uso de humedales de flujo horizontal usando la fitorremediación con la totora para la remoción de As y B.

1.6. Limitaciones

- Recolección y la adaptación de la de *Schoenoplectus californicus* a condiciones estándar de trabajo.
- Experimentación en campo con aguas contaminadas con arsénico y boro.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Marco referencial

2.1.1. Antecedentes de la investigación

1. Miguel Ángel Condori Díaz (2016), “Estudio de niveles de boro y arsénico en suelo agrícola en el distrito de cocachacra Valle de tambo-Arequipa”. Los resultados de la caracterización del suelo del distrito de Cocachacra, demostraron que se trata de un suelo apto para la agricultura y para la retención de boro y arsénico. Asimismo, del estudio de los niveles de boro y arsénico, el boro se encontró en concentraciones muy altas, entre los 221,0 mg/kg y 346,5 mg/kg y el arsénico en concentraciones que oscilan entre los 49,1 mg/kg y 57,1 mg/kg. Siendo el arsénico quien estaría superando los límites máximos permitidos de arsénico, según el Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM “Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo”.
2. Blanca Miriam Bedoya Escobar (2013) “Evaluación de la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco” en aguas contaminada con arsénico - Tacna”. El objetivo de esta investigación fue determinar la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “ junco” en agua contaminada con arsénico, en los resultados se obtuvo que la actividad fitorremediadora fue eficaz el cual alcanzo nivel de absorción de 75% para 1mg/L, 57,5% para 0,5mg/L, 25% para 0,1mg/L y 50% para 0,05mg/L . (Escobar, 2013)
3. Juleissi Jacqueline Díaz Vásquez, Mari Elena Guissa Mendoza (2018) “Parámetros cinéticos de Fito biorreactores para la depuración de aguas residuales domésticas con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA). Distrito de Cajamarca”. El presente trabajo tuvo la finalidad determinar los valores de los parámetros cinéticos de fitobiorreactores en la depuración de aguas residuales domésticas con la especie

Schoenoplectus californicus (Tatora) en el distrito de Cajamarca, se llegó a la conclusión que existe una relación inversa entre la disminución de la materia orgánica y el crecimiento de las plantas. (Juleissi Jacqueline Diaz Vasquez, 2018)

2.2. Marco legal

2.2.1. Ley

2.2.1.1. Constitución Política del Perú de 1993

“Artículo 2°. - Dentro de los derechos fundamentales establecidos por la constitución del Perú se tiene en el inciso 22. Derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”.

2.2.1.2. Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)

“Artículo I del Título Preliminar.- Establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.”

“Artículo 31°. - El estándar de calidad ambiental - ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos”.

2.2.1.3. Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)

“Artículo 84°. - Régimen de incentivos. La autoridad nacional, en coordinación con el consejo de cuenca, otorga reconocimientos e incentivos a favor de quienes desarrollen acciones de prevención de la contaminación del agua y de desastres, forestación, reforestación o de inversión en tecnología y utilización de prácticas, métodos o procesos que coadyuven a la protección del agua y la gestión integrada del agua en las cuencas. (...)”

2.2.1.4. Reglamento de la ley de Recurso Hídricos (Ley 29338)

“Artículo 9°. - Objetivos del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos:

- a. Promover la elaboración de estudios y la ejecución de programas y proyectos de investigación y capacitación en materia de gestión de recursos hídricos, de acuerdo con la Política y Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos, el Plan Nacional de los Recursos Hídricos y los planes de gestión de recursos hídricos en la cuenca.
- b. Contribuir en la planificación, concertación, regulación y uso sostenible, conservación, preservación y la recuperación del agua y de sus bienes asociados”

2.2.1.5. Reglamento de calidad de agua para consumo humano (D.S. N°031-2010-SA)

“Artículo 62°. - Parámetros inorgánicos y orgánicos. Toda agua destinada para el consumo humano, no deberá exceder los límites máximos permisibles para los parámetros inorgánicos y orgánicos”.

“Artículo 68°. - Control de parámetros químicos. Cuando se detecte la presencia de uno o más parámetros químicos que supere el límite máximo permisible, en una muestra tomada en la salida de la planta de tratamiento, fuentes subterráneas, reservorios o en la red de

distribución, el proveedor efectuará un nuevo muestreo y de corroborarse el resultado del primer muestreo investigará las causas para adoptar las medidas correctivas, e inmediatamente comunicará a la Autoridad de Salud de la jurisdicción, bajo responsabilidad, a fin de establecer medidas sanitarias para proteger la salud de los consumidores y otras que se requieran en coordinación con otras instituciones del sector”.

2.2.1.6. Estándares Nacionales de Calidad ambiental para agua y disposiciones complementarias (D.S. N° 004-2017- MINAM)

“Artículo 1°. - La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.”

“Artículo 3°. - Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías 3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de Animales Agua para riego restringido. Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).”

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Agua

El agua es esencial en nuestra vida sin agua no podríamos vivir, la tercera parte de nuestro cuerpo está compuesta por agua, el agua está conformado por un átomo de oxígeno y dos de hidrogeno además que las tres cuartas partes del planeta están conformadas por agua. (Julian Perez Porto, 2010)

2.3.2. Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas tienen una formación debido a la infiltración de las aguas superficiales mediante la porosidad del suelo, cuando un contaminante llega a ingresar en el agua subterránea es casi imposible retirar este contaminante del agua debido al acceso y al costo que esto significaría además del tiempo de remediación. (Montenegro Contreras, 2008)

2.3.3. Aguas superficiales

El agua superficial es aquella que se puede encontrar en la superficie, por lo general se produce por las escorrentías de las precipitaciones, o por el afloramiento de las aguas subterráneas. (Montenegro Contreras, 2008)

2.3.4. Fitorremediación

La palabra fitorremediación proviene del latín (phyto = planta y remediación = mal por corregir), la fitorremediación es una serie de tecnologías que utilizan las plantas para la remoción, absorción, estabilización y eliminación de contaminantes en los suelos, lodos, sedimentos y agua, puede aplicarse tanto in situ como ex situ. (Steven, 2005)

2.3.5. Totora

La totora es una planta autóctona tiene su hábitat en el sur del país y norte en su mayoría se puede encontrar en el departamento de Puno, el nombre científico de la totora es *Schoenoplectus californicus* “es una planta silvestre y tiene un crecimiento de hasta 3m de altura de tallo grueso, firme y cilíndrico, crece en lagunas, zonas pantanosas, huachagues y balsares de la

costa y sierra del Perú, desde el nivel del mar hasta los 4,000 m de altitud". (Perú Ecologico, 2007)

2.3.6. Metales pesados

Los elementos pesados son cualquier elemento químico metálico que tenga una alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd) el arsénico (As), el cromo (Cr), el talio (Tl), y el plomo (Pb). Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra, no pueden ser degradados o ser destruidos. Como elementos de rastro, algunos metales pesados (boro, cobre, selenio, cinc) son esenciales mantener el metabolismo del cuerpo humano, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento. Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse lo que significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo. (Lenntech, 2018).

2.3.7. Arsénico

El arsénico es un elemento químico, es uno de los más abundantes de la tierra, pertenece al grupo V-A metaloides, tiene el símbolo As, número atómico 33, peso atómico de 74.92; densidad 5727 Kg/m³, masa atómica 74.922, dureza de 3.5, y una estructura cristalina romboédrica, presenta tres estados alotrópicos: gris, negro y amarillo, debido al grupo perteneciente es considerado un metaloide o semimetal, debido a que muestra propiedades intermedias entre los metales y los no metales. (Galetovic, 2003)

2.3.8. Boro

Es un elemento químico de número atómico 5, masa atómica 10.81 y símbolo B; es un no metal sólido y se comporta como semiconductor, es trivalente, puede formar 3 enlaces, posee un elevado punto de fusión 2384 K en su forma cristalina, casi tan duro como el diamante, que en la naturaleza solo se encuentra combinado con otros elementos; se usa en la industria metalúrgica y en los reactores nucleares. (Dominguez, 2015)

2.3.9. Humedales

Los humedales son zonas de transición entre ambientes húmedos y ambientes secos, presenta características de ambos pueden ser zonas de “extensión marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobre saladas incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (RAMSAR, 1996) Albergar determinada riqueza ecológica, son objeto de especial protección jurídica, tienen una notable importancia para la conservación de ecosistemas y especies e incluso para la regulación hídrica.

2.3.9.1. Humedales artificiales

Los humedales artificiales son áreas que se construyen con el hombre en las cuales se puede hacer un control de distintos mecanismos de eliminación de diferentes contaminantes. Es un área que se encuentran inundadas o saturadas ya sea por aguas superficiales o subterráneas, y con una frecuencia duración o profundidad suficiente para mantener especies de plantas predominantes, adaptadas a crecer en suelos saturados, con un lecho rocoso (gravas, arenas) y sedimentos finos (arcillas, limos), con vegetación emergente para realizar la remoción de los distintos contaminantes. (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2013)

2.4. Marco teórico

2.4.1. Agua

El agua es esencial para la vida todos los organismos necesitan agua para su supervivencia, la mayor parte de la superficie terrestre es agua. La cantidad de agua dulce en el planeta es el 1% y el agua salada en el planeta es de 97.5%. El ser humano solo puede consumir el agua dulce el cual tiene que pasar por un proceso de potabilización. (Montenegro Contreras, 2008)

2.4.2. Contaminación del agua

La contaminación del agua es aquella que se da por el ingreso de una sustancia ajena al medio que modifican su composición ya sea química, biológica y física que altera la calidad del agua; la contaminación se puede dar en diferentes tipos de aguas y fuentes. (ANA, 2015)

En el país la contaminación del agua se da principalmente por dos fuentes, fuente natural como origen volcánico y fuentes antropogénicas como el vertimiento de aguas residuales, aguas provenientes de minería, desechos industriales, entre otros.

2.4.2.1. Fuentes de contaminación

2.4.2.1.1. Fuentes naturales

La contaminación por fuentes naturales se da generalmente por el arrastre de componentes debido al contacto procedente del suelo por el contacto con la atmosfera o por origen volcánico (Ej. Calcio, boro, arsénico, mercurio cobre, etc.) (Garcia, 2002)

2.4.2.1.2. Fuentes artificiales

Las fuentes artificiales se dan por consecuencia de las actividades antropogénicas o humanas, como las aguas de origen de doméstico, la agricultura, ganadería, industrias, etc. (Garcia, 2002)

2.4.3. Parámetros fisicoquímicos

Según la dirección general de salud (DIGESA, 2010) los parámetros a fisicoquímicos a evaluar en el agua son:

2.4.3.1. pH

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrogeno presentes. Se mide en

una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales. (pág. 7)

2.4.3.2. Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción. (pág. 9)

La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. Un cambio brusco de temperatura y las temperaturas elevadas pueden conducir a un aumento en la mortalidad de la vida acuática.

2.4.3.3. Oxígeno disuelto

La oxigenación del agua se debe principalmente a la solubilización del oxígeno atmosférico y minoritariamente a su generación en la fotosíntesis, principalmente de algas. Sin embargo, el oxígeno así formado durante el día, se consume en parte durante la noche, cuando las algas consumen oxígeno para su metabolismo. (pág. 14)

2.4.3.4. Conductividad eléctrica

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición. (pág. 15)

El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad del agua nos da una idea de los sólidos disueltos

en la misma. De la conductividad eléctrica, que indica la presencia de sales en el agua, lo que hace aumentar su capacidad de transmitir una corriente eléctrica, propiedad que se utiliza en mediciones de campo o de laboratorio, expresadas en micro Siemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La presencia de sales afecta el crecimiento de las plantas (pág. 15)

2.4.3.5. Turbidez

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcillas, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton, sedimentos procedentes de la erosión y microorganismos, el tamaño de estas partículas varía desde 0,1 a 1.000 nm (nanómetros) de diámetro. La turbidez se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficiencia de la filtración para determinar si hay presencia de organismos que provocan enfermedades. (pág. 19)

2.4.3.6. Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica en el agua expresada en mg/l, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo, la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales, el valor de la DQO es mayor que el de la DBO_5 . (pág. 20)

2.4.3.7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Dado que la materia orgánica no sólo son carbohidratos, una manera más práctica de analizar el consumo de oxígeno en la degradación de la materia orgánica en general, es medir los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5). La DBO_5 expresan la materia orgánica en términos generales, pero no indican su composición, la cual es muy variada. Como su origen proviene de organismos, y sus

productos de degradación o de metabolismo, se puede afirmar que la componen proteínas, carbohidratos y lípidos y/o sus productos de degradación: aminoácidos, monosacáridos, hidrocarburos, ácidos grasos, alcoholes, más otros componentes propios de los vegetales como pigmentos. (pág. 22)

2.4.3.8. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua. (pág. 24)

2.4.3.9. Dureza

En general se originan en áreas donde la capa superficial del suelo es gruesa y contiene formaciones de piedra caliza. Son aguas satisfactorias para el consumo humano (por simple desinfección) pero para fines de limpieza, a mayor dureza, mayor es la utilización de jabón (mayor costo) (pág. 25)

2.5. Arsénico

Es uno de los 118 elementos de la tabla química, es un elemento natural que se puede encontrar en la corteza terrestre distribuida ampliamente en el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra. (WHO, 2001) afirma:

El arsénico es un elemento considerado entre los veinte más abundantes sobre la tierra. Está presente en cantidades trazas en rocas, suelo, agua y aire. Este elemento puede existir en cuatro estados de valencia como As^{-3} , As^0 , As^{+3} y As^{+5} . El arsénico se encuentra en el ambiente principalmente como arsenito y arseniato.

La concentración natural de arsénico en agua de mar usualmente es menor que 2 $\mu\text{g/L}$, siendo que en aguas superficiales y subterráneas la concentración varía entre

1 y 10 $\mu\text{g/L}$. El nivel elevado de arsénico se ha podido detectar en aguas de origen geoquímicas el cual se asocia al origen volcánico y actividad hidrotermal.



Figura 1 Arsénico
Fuente: (EcuRed, 2018)

2.5.1. Normatividad

El arsénico según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) afirma: “Los valores de 0.01 mg/l (10 $\mu\text{g/l}$) causan efectos significativos en las personas.

Según el Ministerio de Salud recomienda en el reglamento de calidad de agua para el consumo humano (DS N° 031-2010-SA) el nivel de 0.01 mg/l de As (MINSA, 2010).

Tabla 2 Concentración máxima de arsénico establecidas según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Reglamento de calidad de agua para el consumo humano (MINSA)

Organización	Unidad de medida	Concentración de arsénico
Organización Mundial de la Salud (OMS)	mg/l	0.01
Reglamento de calidad de agua para el consumo humano (DS N° 031-2010)	mg/l	0.01

Fuente: (OMS, 2006), (MINSA, 2010)

En el Perú los Estándares de Calidad Ambiental para Agua DS. 004-2017-MINAM, el cual regula los valores de las concentraciones para As. (MINAM, 2017)

Tabla 3 Estándares de calidad Ambiental para agua (DS. 004 -2017-MINAM)

Parámetros	Riego de vegetales	Bebidas de animales
Arsénico	0.1 mg/l	0.2 mg/l

Fuente: (MINAM, 2017)

2.5.2. Compuestos de arsénico

Los compuestos del arsénico se dividen en compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos según (Gajardo Devia & Vidal Gonzáles, 2009) afirma:

2.5.2.1. Compuestos inorgánicos

Los compuestos inorgánicos de arsénico (As) tienen por lo menos otro elemento como el hidrógeno, pero no contienen carbono, por lo general los compuestos inorgánicos de As son provenientes de origen geológico.

Las formas dominantes son:

- Arsenito, con valencia 3, también se denomina trivalente arsénico (As (III), As^{+3})
- Arseniato, con valencia 5, también se denomina pentavalente arsénico (As (V), As^{+5})

a) Compuestos inorgánicos trivalentes

- Triocloruro de arsénico ($AsCl_3$)
- Trióxido de arsénico (As_2O_3)

- Arsenito cálcico $\text{Ca}_3(\text{AsO}_3)_2$
- Arsenito de plomo (AsHO_4Pb)
- Arsenito sódico (Na_3AsO_4)

b) Pentavalentes:

- Pentóxido de Arsénico (As_2O_5)
- Ácido arsénico u orto arsénico (H_3AsO_4)
- Ácido arsénico, arseniatos y sus sales ($\text{HAsO}_3 - \text{H}_2\text{AsO}_4 - \text{HAsO}_4^{-2} - \text{AsO}_4^{-3}$)

2.5.2.2. Compuestos Orgánicos

Los compuestos orgánicos de As contienen carbono. Estos compuestos se encuentran principalmente en organismos marinos, aunque algunos también se han localizado en especies terrestres. Los compuestos orgánicos de As son:

- Ac. Monometilarsónico (MMA)
- Ac. Dimetilarsínico (DMA)
- Óxido de trimetilarsina (TMAO)
- Dimetilarsina
- Trimetilarsina
- Ac. Arsanílico
- Arsfenamina
- Ac. 3-Nitro-4-hidroxi-fenilarsénico
- Ac. 4-Nitrofenilarsénico
- Arsenobetaina (AB)

- Arsenocolina (AC)

- Alcildicloroarsina

2.5.3. Disponibilidad del arsénico en función del pH

El pH del arsénico es un elemento singular entre los metaloides pesados y elementos formadores de oxianiones por su sensibilidad a movilizarse en los valores de pH típicos de las aguas subterráneas (pH 6.5-8.5).

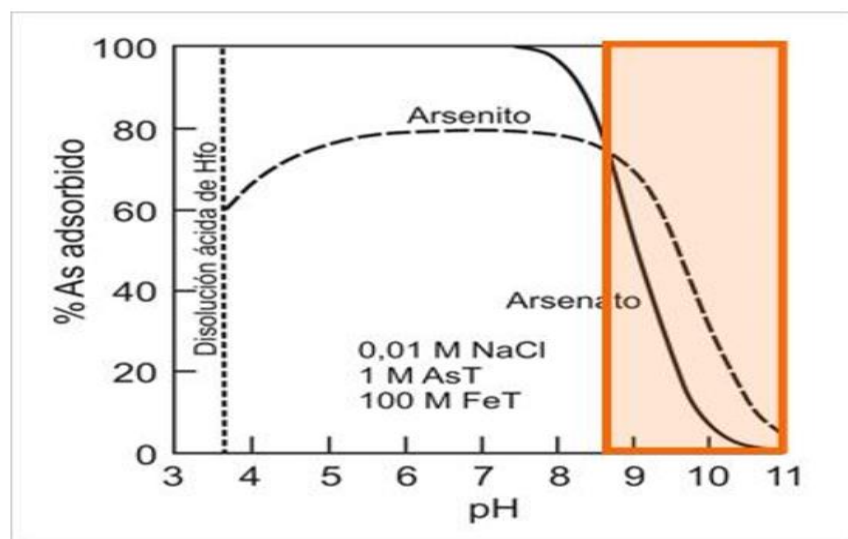


Figura 2 Porcentaje de As absorbido en relación con pH del medio
Fuente: (Smedley P.L., 2002)

En la figura 2 se observa que los niveles de mayor disolución son en los pH 6 a 8.8, mientras con un 80 % de disolución y en condiciones reductoras los pH de 8.9 a 11 se nota una menor disolución, predomina la especie neutra. (Smedley P.L., 2002)

2.5.4. Fuentes de exposición

Los altos niveles de exposición de arsénico inorgánico (OMS, 2018) refiere a que se debe a las diversas causas; agua contaminada usada para la preparación de alimentos, el riego de cultivos y procesos industriales y el consumo de tabaco y el de alimentos que puedan estar contaminados, así también el consumo puede causar una intoxicación crónica enfermedades como el cáncer a la piel.

2.5.4.1. Consumo de As en el agua a nivel mundial

El consumo de As en el agua se viene dando debido a que las fuentes de agua subterránea, tiene altos contenidos de As, en estos últimos años se determinó que un promedio de 70 países se encuentra expuestas a concentraciones superiores a los 10 µg/l en el agua de bebida. (Ravenscroft, Predicting the global extent of arsenic pollution of groundwater and its potential impact on human health, 2007)

Tabla 4 Países con contenido de As en aguas subterráneas

Continente	País
Asia	Afganistán, Arabia Saudita, Bangladesh, Camboya, China, Filipinas, India, Irán, Japón, Kazajstán, Laos, Malasia, Mongolia, Myanmar, Nepal, Pakistán, Sri Lanka, Tailandia, Taiwán, Turquía, Vietnam
América	Alaska, Argentina, Canadá, Chile, Dominica, El Salvador, Estados Unidos, Honduras, México, Nicaragua, Perú
Europa	Alemania, Austria, Bélgica, Croacia, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Italia, Republica Checa, Rumania, Rusia, Reino Unido, Serbia, Suecia, Suiza.
África	Camerún, Etiopía, Ghana, Nigeria, Sudáfrica, Zimbabue
Oceanía	Australia, Nueva Zelanda

Fuente: (Petrusevski, et al., 2007) (Ravenscroft, 2007) (Ravenscroft, et al., 2009)

2.5.4.2. Procesos industriales

El arsénico es utilizado en los procesos industriales como un agente de aleación, también se utiliza para la preservación de madera (arseniato de plomo y cromo), también es usado como material semiconductor, insecticidas, plaguicidas, pero usando una menor concentración de arsénico y por último es usado en los procesos de: vidrio, textil, municiones, papel, curtido de pieles.

2.5.5. Efectos en la salud

El arsénico es uno de los elementos químicos que causan más efectos en la salud para las personas según la Organización Mundial de la Salud el arsénico inorgánico es un carcinógeno confirmado y es el contaminante químico más importante del agua de bebida a escala mundial”. (OMS, 2018)

2.5.5.1. Efectos agudos

“Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen otros efectos, como entumecimiento u hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y, en casos extremos, la muerte”. (OMS, 2018)

2.5.5.2. Efectos a largo plazo

La organización mundial de la salud (OMS, 2018) refiere:

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel.

Además de cáncer de piel, la exposición prolongada al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC. (OMS, 2018)

“El arsénico se ha asociado también a desenlaces adversos del embarazo y mortalidad de lactantes y efectos en la salud de los niños” (Reginald Quansah, 2015), hay pruebas de que puede tener una influencia negativa en el desarrollo cognitivo. (OMS, 2018)

El arsenicismo se ha definido como la toxicidad crónica, clínica o subclínica, debido al alto nivel de arsénico en el cuerpo, se identifican cuatro etapas. (Trelles Bautista, 2013):

- Preclínico: el paciente no muestra síntomas, pero el arsénico (metabolitos) puede detectarse en muestras de tejido y orina. (Saha, 2003)

- Clínico: etapa con efectos en la piel, con oscurecimiento de la piel (melanosis) comúnmente en las palmas de las manos. También se pueden presentar manchas oscuras en el pecho, espalda, extremidades y encías. Un síntoma más serio es la queratosis o endurecimiento de la piel en forma de nódulos sobre las palmas y las plantas de las manos y los pies. La OMS estima que cuando se ha llegado a esta etapa se ha tenido una exposición al arsénico de 5 a 10 años. (Saha, 2003)

- Complicaciones clínicas: síntomas clínicos más pronunciados y afectación de los órganos internos. Estudios han reportado dilatación del hígado, los riñones y el bazo. También se han vinculado la conjuntivitis, bronquitis y diabetes. (Saha, 2003)

- Malignidad: desarrollo de tumores o cánceres que afectan la piel u otros órganos. En esta etapa, la persona afectada puede desarrollar gangrena o cáncer de piel, pulmón o vejiga. (Saha, 2003)

2.5.6. Efectos ambientales del Arsénico

El arsénico se encuentra en su forma natural ya sea por el origen litológico, se puede encontrar en el aire, agua, suelo. Tiene una dureza 3,5 y una densidad 5727 kg/m^3 el cual no puede ser soluble en agua, es por ello

que viene hacer un compuesto móvil, debido a esto no se acumula en un sitio específico, tiene un factor de esparcimiento mayor. (Lenntech, 2018)

El arsénico que se usa en procesos industriales o actividades humanas es considerado arsénico inmóvil el cual es usado en fundiciones, minería entre otras industrias, debido a esto el arsénico inmóvil se puede encontrar en diferentes sitios donde no existía arsénico, el cual puede generar contaminación debido al traslado de arsénico. (Lenntech, 2018)

El ciclo del Arsénico se ha extendido por la intervención del hombre debido a los procesos industriales como la producción de zinc, cobre y plomo, otra fuente de contaminación se da en la agricultura en el uso de plaguicidas y herbicidas, el cual trae como consecuencia la exposición del As al medio ambiente y a los organismos vivos. (Lenntech, 2018)

Una vez que el arsénico se esparció en distintos medios es difícil su eliminación del ambiente debido a la dureza que este presenta y a su densidad, puede causar efectos en la salud como el cáncer entre otras enfermedades, siendo afectado también las especies vegetales y animales.

Las plantas tienen la facultad de absorber diferentes elementos y nutrientes, cuando el uso y el agua están contaminados con arsénico ya sea por origen natural o antropogénico el As es absorbido, el cual genera grandes problemas en los cultivos por la absorción de estas plantas que tienen como destino final la alimentación de las personas generando distintos malestares en pequeñas dosis pero el consumo de estas plantas en grandes cantidades podría traer como consecuencia enfermedades cancerígenas, y generando también en los animales que llegan a beber el agua con As problemas de aborto, malformaciones y en grandes cantidades la muerte de dichos animales. (Lenntech, 2018)

2.6. Boro

El boro es uno de los elementos químicos compuestos en la tabla periódica el cual tiene el símbolo B, número atómico 5, peso atómico 10.811, densidad 2460 kg/m^3 , estructura cristalina romboédrica, es un elemento semiconductor presenta un estado alotrópico gris plateado con brillo metálico, en su forma cristalina es rojo brillante. (Lenntech, 2018)

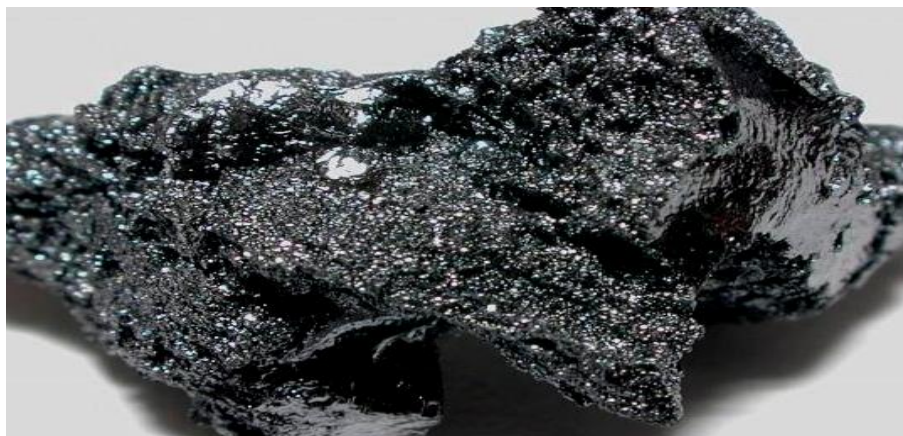


Figura 3 Boro
Fuente: (Escuelapedia , 2018)

En el mineral más abundante donde se encuentra el boro, es en el bórax o también llamado tetra borato de sodio ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_7(\text{OH})_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), el cual tiene un uso industrial y doméstico es usado para los detergentes, jabones, ablandadores de agua, almidones para planchado, adhesivos, preparaciones para baño, cosméticos, también es usado en la agricultura como herbicidas y plaguicidas y en las industrias de papel, cuero y plásticos.

El boro tiene una abundancia del 0.001 ppm en la corteza terrestre y también se encuentra presente en el mar en pequeñas cantidades, tiene muy poca expansión como el molibdeno, litio y berilio. El boro en pequeñas cantidades es importante para las plantas, pero en grandes concentraciones llega a ser muy dañina para las plantas, la mayoría de lugares donde se identificaron depósitos de boro son de origen litológico. (Lenntech, 2018)

Los principales depósitos de estos minerales se encuentran en los Estados Unidos, Turquía, Perú, Chile, Bolivia y la Argentina. Existen además ciertos minerales de silicato de boro en China y Rusia, Kazajstán, entre otros. (Alberto W., 2016)

2.6.1. Normatividad

El boro causa efectos significativos en las personas es por ello que la Organización Mundial de la Salud (OMS), indica valores de 0.05 mg/l de B. (OMS, 2006)

El Ministerio de Salud recomienda en el reglamento de calidad de agua para el consumo humano (DS N° 031-2010-SA) el nivel de 1,5 mg/l de B. (MINSA, 2010)

Tabla 5 Concentración máxima de boro establecidas según la Organización Mundial de la Salud y reglamento de calidad de agua para el consumo humano(MINSA)

Organización	Unidad de medida	Concentración de boro
Organización Mundial de la Salud (OMS)	mg/l	0.05
Reglamento de calidad de agua para el consumo humano (DS N° 031-2010)	mg/l	1,5

Fuente: (OMS, 2006), (MINSA, 2010)

En el Perú los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (DS. 004 – 2017 MINAM), el cual regula los valores de las concentraciones para B. (MINAM, 2017)

Tabla 6 Estándares de calidad ambiental para agua (DS 004-2017)

Parámetros	Riego de vegetales	Bebidas de animales
Boro	1 mg/l	5 mg/l

Fuente: (MINAM, 2017)

2.6.2. Disponibilidad del boro en función del pH

El pH de la solución del suelo no solo condiciona la disponibilidad y solubilidad del boro, sino que también lo hace con el resto de los nutrientes del suelo.

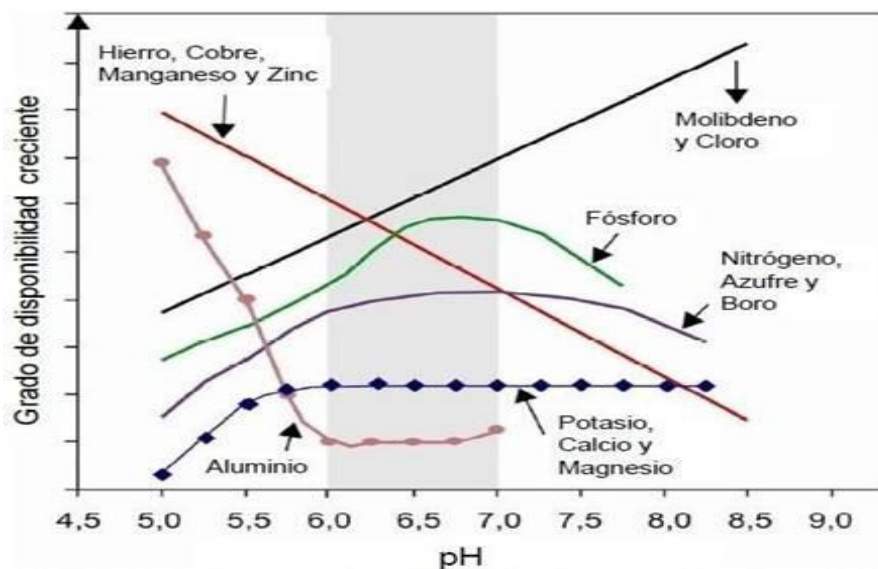


Figura 4 Grado de disponibilidad de micronutrientes en función del pH.

Fuente: (Malavolta, Vitti, & Olivera, 1997)

En la figura 4 se observa que los niveles de mayor disolución son en el pH 6 a 8 y en condiciones reductoras los pH de 5 a 6, 7.6 a 8.1 menor disolución, se puede identificar que el boro predomina en un pH neutro.

2.6.3. Efectos del boro sobre la salud

El boro se encuentra en el medio ambiente de forma natural se puede encontrar en el aire, suelo, agua, también se encuentra en aguas subterráneas.

El boro que se encuentra en el suelo es absorbido por las plantas el cual al ser consumido por los animales en grandes concentraciones pueden producirles esterilidad o los órganos reproductivos masculinos se ven dañados, o cuando el animal se encuentra en gestación y a exposición de grandes cantidades de boro el feto puede sufrir defectos de nacimientos y fallos en el desarrollo. (Bustos Obregón, Carvallo M., Hartley Belmar, Sarabia, & Ponce)

2.6.3.1. Efectos secundarios

Según el instituto nacional de la salud de EEUU (NIH, en sus siglas en ingles), indican que la toxicidad por boro puede causar erupciones en la piel, náuseas, vómito (puede ser de color azul verdoso), diarrea, dolores abdominales y de cabeza. Se ha informado de baja presión arterial y cambios metabólicos en la sangre (acidosis), también puede aparecer agitación o la reacción opuesta (debilidad, agotamiento, depresión) y se ha detectado fiebre, hipertermia, temblores y ataques. (Sainz , 2009), por vía oral se producen daños hepáticos, renales, neurológicos. (Williams, Muntaz, M., F., & K., 2010)

“La exposición crónica, por su parte, "puede causar deshidratación, ataques, una disminución de glóbulos rojos en la sangre, así como daño a los riñones e hígado". (Sainz , 2009)

2.6.4. Efectos ambientales del Boro

En la tierra se puede encontrar en diferentes lugares el boro, y podemos ingerir el boro en el agua, frutas, aire, vegetales; en diferentes lugares se ha podido identificar que hubo exposición al boro debido al polvo que se genera en esta actividad. Las personas al estar expuestas a concentraciones grandes de boro pueden traerle afectaciones a la salud como al hígado, riñones, cerebro, estómago. Si la exposición es en pequeñas concentraciones puede generar irritación en la nariz, ojos y garganta. (Lenntech, 2018)

2.7. Fitorremediación

Fitorremediación proviene del griego de *phyto* que significa planta y *remedium* que significa recuperar el equilibrio. Es un conjunto de tecnologías que reducen la concentración in situ o ex situ de diversos compuestos bioquímico realizados por las plantas y microorganismos asociadas a ellas. La fitorremediación es la capacidad que tienen las diversas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en diferentes medios como en el agua, suelo y aire que puedan tener diferentes tipos de contaminantes como metales pesados, elementos radioactivos, sedimentos, entre otros. (Idainature, 2015)

2.7.1. Tipos de fitorremediación

Según (Nuñez López, Meas Vong, Ortega Borges, & J. Olguín, 2004) los tipos de fitorremediación, se clasifican en:

2.7.1.1. Fitoestabilización

La fitoestabilización es un método que reduce los contaminantes en el ambiente como metales entre otros, por medio de la absorción y la acumulación en las raíces de las plantas, el primer paso para llevar a cabo el proceso es seleccionar a la planta que acumule pocos contaminantes. La fitoestabilización por lo general se aplica para grandes extensiones de suelo, tiene la ventaja de tener un costo menor, una fácil aplicación. Debido a la poca acumulación en tallo las plantas pueden ser usadas como alimentos por animales. (pág. 70)

2.7.1.2. Fitoextracción

La fitoextracción o también llamado fitoacumulación, consiste en que las plantas absorban por medio de las raíces y posteriormente concentren en sus tallos y hojas, para realizar la fitoextracción primero se tiene que escoger a la planta adecuada según el contaminante que se encuentre, después de haber extraído el contaminante se incinera la planta y se traslada las cenizas a un vertedero de seguridad como disposición final. (pág. 69)

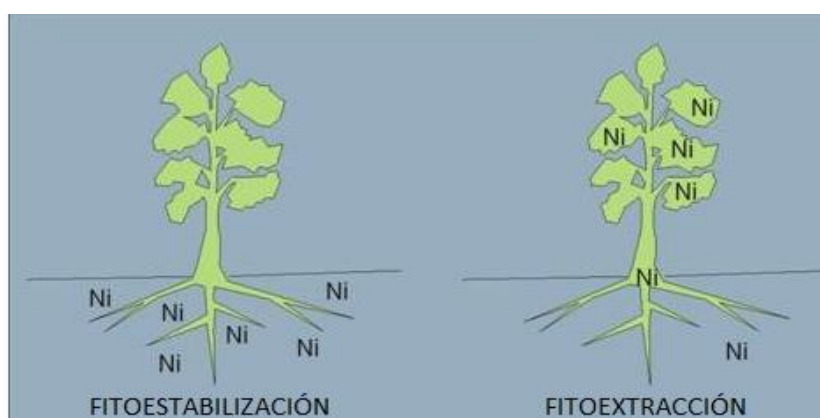


Figura 5 Comparación entre la fitoestabilización y la fitoextracción

Fuente: (Idainature, 2015)

2.7.1.3. Fitotransformación

La fitotransformación o fitodegradación, es el proceso que usa las plantas para degradar o transformar en sustancias menos tóxicas diversos tipos de contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), compuestos clorados, explosivos y surfactantes (detergentes). (pág. 70)

A través de reacciones enzimáticas que llevan a cabo plantas y microorganismos en la rizósfera, es decir, la zona del suelo estrechamente asociada con las raíces de las plantas, dichos contaminantes son parcial o completamente degradados o transformados. (pág. 70)

2.7.1.4. Fitovolatilización

La fitovolatilización consiste en utilizar plantas que puedan volatilizar diferentes contaminantes que puedan encontrarse en el suelo y agua. Los contaminantes son absorbidos, metabolizados, transportados desde su raíz a sus partes superiores y liberados a la atmósfera en formas volátiles, menos tóxicas o relativamente menos peligrosas en comparación con sus formas oxidadas. (pág. 70)

La transformación de dichos elementos se efectúa básicamente en la raíz, y su liberación se lleva a cabo durante la transpiración.

2.7.1.5. Rizofiltración

La rizofiltración consiste en realizar el proceso mediante el cultivo hidropónico, se selecciona plantas que tengan una alta tasa de crecimiento, para la absorción, concentración y así poder precipitar metales pesados de aguas residuales contaminadas. Las estrategias de fitorremediación hacen referencia a los mecanismos predominantes realizados por las propias plantas, pero también, en algunos casos,

indican el papel que tienen las comunidades microbianas durante el proceso de remediación. (pág. 70)

Así, se hace evidente que la fitorremediación es un proceso complejo que involucra la participación de la comunidad microbiana asociada a su sistema de raíz. (pág. 70)

2.7.1.6. Fitoestimulación

La fitoestimulación consiste en que las defensas de las plantas, los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos. (pág. 70)

Como parte de sus actividades metabólicas y fisiológicas, las plantas liberan azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno, y los transportan desde sus partes superiores hasta sus raíces, favoreciendo el desarrollo de comunidades microbianas en el suelo circundante; particularmente hongos y bacterias, cuyas actividades metabólicas causan la mineralización de los contaminantes. (pág. 70)

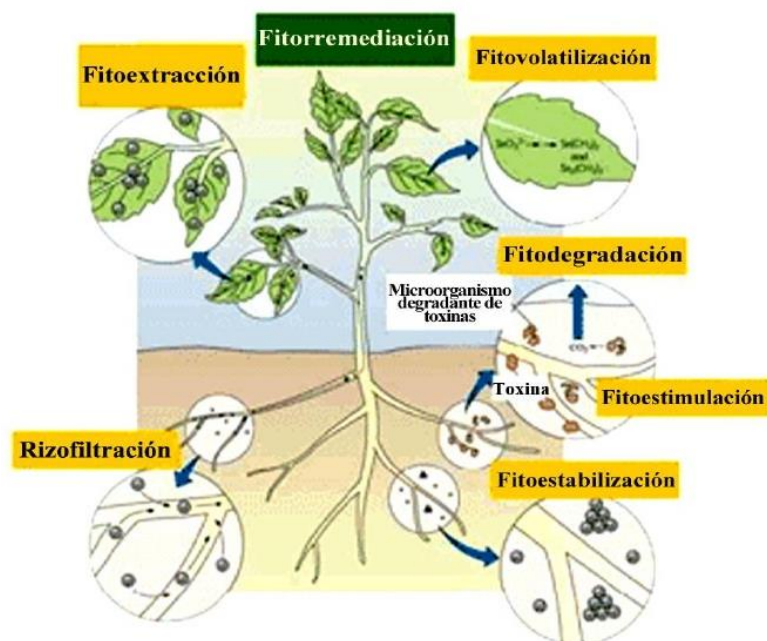


Figura 6 Tipos de fitorremediación
Fuente: (Javier Pérez, 2012)

2.7.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Tabla 7 Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas	Desventajas
Es una tecnología sustentable.	Es un proceso relativamente largo (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos).
Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes.	Es dependiente de las estaciones.
Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía.	Los crecimientos acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente ambiente durante el otoño (especies perennes).
Es poco perjudicial para el ambiente.	Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño.
No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho.	Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión.
Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable.	No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama de diversos materiales peligrosos.	La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.
Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales).	Se requiere áreas relativamente grandes. Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos).

Fuente: (Polpraset, 1996)

2.7.3. Sistemas de fitorremediación acuática

Los sistemas de fitorremediación se dividen en cuatro tipos (Nuñez López, et al., 2004) :

2.7.3.1. Sistemas de tratamiento con plantas acuáticas flotantes

Es un sistema que consiste en mantener plantas flotantes en estanques semiconstruidos o naturales para los tratamientos de efluentes secundarios municipales o industriales, tienen un menor costo de inversión, es fácil de operar. (pág. 72)

2.7.3.2. Humedales artificiales

Este sistema consiste en la implementación de especies emergentes y submergentes en un complejo de sustratos (grava o arena), ese sistema simula a los humedales naturales, pero con las diferencias que es diseñado por el hombre para su beneficio. (pág. 72)

2.7.3.3. Sistemas de tratamiento integral

El sistema integral es una combinación de los sistemas de tratamiento con plantas acuáticas flotantes y de humedales artificiales. (pág. 72)

2.7.3.4. Sistema de rizofiltración

El sistema de rizofiltración puede remover eficientemente fosfatos, nitratos, fenoles, pesticidas, metales pesados, elementos radioactivos, fluoruros, bacterias y virus de aguas residuales municipales, agrícolas e industriales. (pág. 72)

2.7.4. Tipos de plantas acuáticas

La fitorremediación acuática utiliza diferentes tipos de plantas que se clasifican en tres grupos (Nuñez López, et al., 2004):

2.7.4.1. Emergentes

Las raíces de estas plantas están enterradas en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie de agua. Sus estructuras reproductoras están en la porción aérea de la planta. Ejemplos: carrizo (*Phragmites communis*), platanillo (*Sagittaria latifolia*), tule (*Thypha dominguensis*) y totora (*Schoenoplectus californicus*). (pág. 72)

2.7.4.2. Flotantes

Las plantas flotantes se dividen en dos tipos de libre flotación o no fijas y de hoja flotante o fijas:

- a) Plantas de libre flotación (no fijas): Sus tallos y hojas se desarrollan sobre la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están fijas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua. Sus estructuras vegetativas y reproductivas se mantienen emergentes. Ejemplos: lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), lenteja de agua (*Lemna spp.* y *Salvinia minima*). (pág. 72)
- b) Plantas de hoja flotante (fijas): Tienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua, pero sus raíces están fijas en los sedimentos. Ejemplo: nenúfares (*Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*). (pág. 72)

2.7.4.3. Sumergidas

Se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergidas. Sus órganos reproductores pueden presentarse sumergidos, emerger o quedar por encima de la superficie de agua. Ejemplos: bejuquillo (*Cerathophyllum demersum*), hidrilla o maleza (*Hydrilla verticillata*) y pastos (*Phyllospadix torreyi*). (pág. 72)

2.7.5. Criterios de selección de plantas para la fitorremediación

La eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de fitorremediación dependerá principalmente de la especie de planta utilizada, el estado de crecimiento de las plantas, su estacionalidad y el tipo de metal a remover (Nuñez López, et al. , 2004). Por lo mismo, para lograr buenos resultados, las plantas a utilizar deben tener las siguientes características:

- Ser tolerantes a altas concentraciones de metales.
- Ser acumuladoras de metales.
- Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad.
- Ser especies locales, representativas de la comunidad natural.
- Ser fácilmente cosechables.

2.7.6. Mecanismos de resistencia a los metales pesados

Según (Nuñez López, et al. , 2004), “las exposiciones a los diferentes contaminantes han llevado a que las plantas creen mecanismos para tolerar diferentes contaminantes, los cuales se clasifican en”:

- a) **Exclusión:** Involucra un sistema de reflujo o liberación de metales desde el interior de la planta hasta el exterior, para evitar o minimizar la acumulación en sus tejidos. (pág. 74)
- b) **Reducción:** La reducción implica la transformación de especies químicas altamente tóxicas a especies menos tóxicas, las cuales pueden entonces ser asimiladas y metabolizadas por las plantas. Una vez dentro del organismo, las especies metálicas individuales experimentan una biotransformación. (pág. 75)
- c) **Solubilización:** Está relacionada con la transformación del metal insoluble a una forma soluble, es decir, su transformación de una forma no asimilable a una asimilable. (pág. 75)

- d) **Acumulación:** Comprende la captura en el interior de las células donde no tiene efectos tóxicos como en la vacuola y la pared celular; destoxicación interna de los metales a través de la incorporación de proteínas, ácidos orgánicos, histidina y péptidos. (pág. 75)

2.7.7. Métodos para estimar los factores de tolerancia a los metales del agua en las plantas

Distintas especies poseen mecanismos que le permiten tener un exceso de elemento tóxico que queda almacenado en las hojas, en las vacuolas, o ligados en la membrana plasmática en formas insolubles (Baker, 1990). Se pueden distinguir tres tipos de plantas en función de su comportamiento al incremento de concentración en el suelo:

- Plantas Acumuladoras: Son aquellas en las que el metal es concentrado en el tallo y las hojas.
- Plantas Indicadoras: Son aquellas donde la absorción y el transporte están regulados de tal manera que las concentraciones en planta se reflejan en la forma externa de ésta.
- Plantas excluyentes: Son aquellas en las que las concentraciones de metal están en el tallo y en la hoja, son constantes en concentraciones bajas de metal en el suelo.

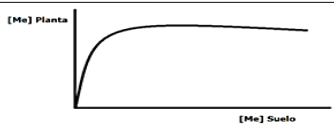
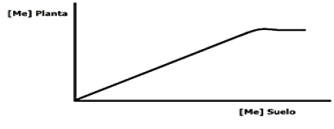

Gráfica	Ecuación
 <p style="text-align: center;">Plantas Acumuladoras</p>	$\frac{[Metal]_{planta}}{[Metal]_{suelo}} > 1$
 <p style="text-align: center;">Plantas Indicadoras</p>	$\frac{[Metal]_{planta}}{[Metal]_{suelo}} \approx 1$
 <p style="text-align: center;">Plantas Excluyentes</p>	$\frac{[Metal]_{planta}}{[Metal]_{suelo}} < 1$

Figura 7 Tipos de plantas según su comportamiento al incremento de concentración en el suelo de elementos traza

Fuente: (González M., 1997)

- **Factor de bioacumulación**

El factor de bioacumulación se mide mediante el tallo y la concentración en el agua, es importante medir ya que permite determinar si el metal es concentrado en el tallo y en las hojas. Si el factor es mayor a 1 significa que es bioacumuladora. (González M., 1997)

$$FBA = \frac{[Metal] \text{ planta aérea}}{[Metal] \text{ agua}} \dots \text{Ecuación 1}$$

- **Factor de bioconcentración**

Se define como la relación de las concentraciones de metal en las raíces, y en el agua (Bu-Olayan, 2009). Se calcula de la siguiente manera:

$$FBC = \frac{[Metal] \text{ raíz}}{[Metal] \text{ agua}} \dots \text{Ecuación 2}$$

Nos muestra el paso de los metales pesados de la raíz a la planta. Si es mayor que 1 significa que existen mecanismos que concentran el elemento en las hojas.

- **Factor de traslocación o transferencia**

El cual indica el tipo de respuesta de la planta al metal y donde se acumulan los metales, si el transporte del metal de la raíz a la hoja está favorecido o no (González M., 1997). Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$FT = \frac{[Metal] \text{ hoja}}{[Metal] \text{ raíz}} \dots \text{Ecuación 3}$$

Si esta relación es inferior a 1 significa que existe una restricción del transporte de la raíz a las hojas, y el metal queda inmovilizado en el tejido de la raíz. Se utiliza como medida de la restricción del

transporte para comparar el comportamiento de diferentes especies en su respuesta a los metales pesados.

Tanto el FBC como el FT deben de ser considerados al evaluar si una planta en particular es híper acumuladora. Las plantas con ambos valores de factor de bioconcentración y factor de traslocación son mayores que uno significa que son aptas para la fitoextracción; y por otro lado las que posean un factor de bioconcentración mayor que uno, pero el factor de transferencia menor posee potencial para la fitoestabilización. (González M., 1997)

2.8. Humedales

La definición según el convenio de RAMSAR nos dice que, un humedal son áreas de territorio que se encuentran inundadas por agua en periodos de tiempo largos o cortos reguladas por los factores climático y que están constantemente interrelacionados con los seres vivos que habitan (RAMSAR, 1996).

- Importancia

Los humedales tienen una gran importancia para la flora y la fauna ya que estas fuentes naturales permiten una gran diversidad biológica de especies vegetales y animales así mismo brindándoles alimento, refugio a diversas especies como aves, reptiles mamíferos.

La importancia de los humedales no solo radica para su biodiversidad sino también para el medio ambiente, permite que se genere una recarga de aguas subterráneas y permite la regulación hidrológica subterránea y mitigación del cambio climático.

2.8.1. Humedales artificiales

Los humedales artificiales son aquellos que han sido construidos por el hombre el cual tiene como finalidades la eliminación de diferentes contaminantes en las aguas residuales mediante los diferentes mecanismos.

2.8.1.1. Componentes de los humedales artificiales

Para la construcción de un humedal primero se impermeabiliza el área para evitar pérdidas de agua al subsuelo, se usa sustratos, vegetación, agua a tratar.

- Sustrato: El sustrato es importante ya que sirve para soporte y el enraizamiento de la vegetación y ayuda al proceso de eliminación de los contaminantes.
- Vegetación: Por lo general está compuesta por macrofitas emergentes que contribuyen a la absorción/extracción de contaminantes y brindan oxigenación al sustrato por medio de su rizósfera.
- Agua a tratar: Es aquella agua que circula en el sustrato y en la vegetación.

2.8.1.2. Tipos de humedales

1. Humedales de flujo superficial (FWS)

El Humedal de flujo superficial (HFS) o en inglés Free Water Surface(FWS). En apariencia y función son similares a los humedal es naturales y también a los sistemas de lagunaje tradicionales son menos profundos y cuentan con vegetación plantada.

“Este tipo de humedal consiste en que las plantas deben estar enraizadas en el fondo del humedal y el flujo del agua circula a través de las hojas y tallos de las plantas a una profundidad de 30 - 40 cm, su tiempo de retención hidráulica es de 1 a 15 días, y su vegetación puede ser variable, tienen una eficiencia del 96%”. (García Serrano & Corzo Hernández, 2008).

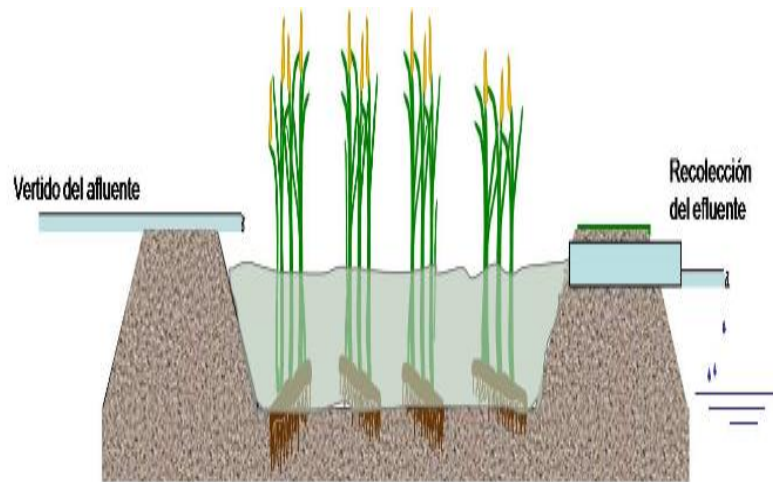


Figura 8 Humedal de flujo superficial
Fuente: (García Serrano & Corzo Hernández, 2008)

1.2. Tipo de humedal de flujo superficial

1.2.1. Flujo horizontal

En los humedales de flujo horizontal la circulación del agua es horizontalmente el cual atraviesa el medio granular, los rizomas y las raíces de las plantas.

La alimentación del caudal se realiza de forma continua y la depuración tiene lugar en el tránsito de las aguas a través de los tallos raíces de la vegetación (los tallos raíces y hojas caídas sirven como soporte para la fijación de la película bacteriana responsable de los procesos de biodegradación).

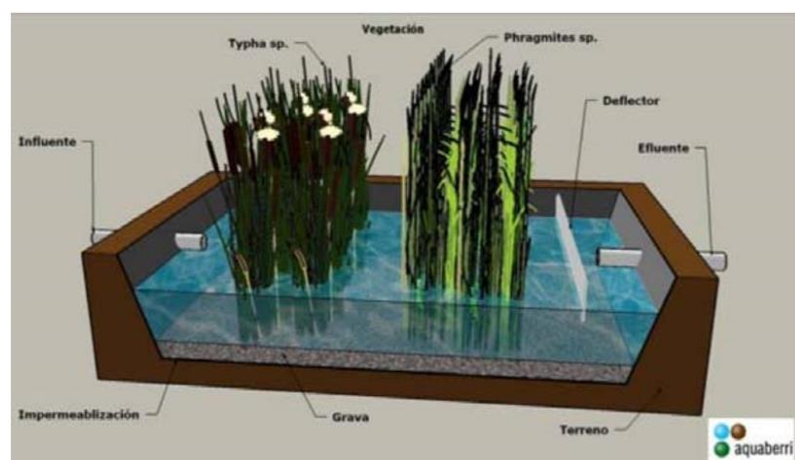


Figura 9 Representación 3D de un humedal de flujo horizontal superficial
Fuente: (Borja Mateu, 2015)

Los humedales de flujo superficial horizontal están compuestos por los siguientes elementos:

A. Impermeabilización

Para realizar el sistema de flujo superficial horizontal es necesario confinar el área es por ello que se dispone de una barrera impermeable como una medida de contingencia para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas.

B. Estructuras de entrada y salida

Los humedales son sistemas que necesitan una buena repartición y recogida del agua tratada es por lo cual que es necesario una óptima estructura y diseño para la entrada y salida.

C. Medio granular

El medio granular está conformado por grava o arena es una de las partes esenciales del sistema ya que ocurre múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos.



Figura 10 Medio granular- grava
Fuente: Elaboración propia

D. Vegetación

Las especies más utilizadas son las macrófitas emergentes típicos de las zonas húmedas como el carrizo (*Phragmites*), la espadaña (*Typha*) o los juncos (*Scirpus*).



Figura 11 Totorá
Fuente: Elaboración Propia

Previamente para realizar incorporación de las plantas al sistema tuvieron que haber pasado por un proceso de adaptación para poder tolerar las sustancias en el agua y su adaptación al medio granular.

Los efectos de la vegetación sobre el funcionamiento de los humedales son:

- Las raíces y rizomas generan una adecuada superficie para el crecimiento de la biopelícula que se genera en las partes inferiores de las plantas y sobre el medio granular generándose microambientes aeróbicos.

-Amortiguamiento de las variaciones ambientales, cuando las plantas tienen desarrollo reducen la intensidad de la luz incidente sobre el medio granular evitando grandes niveles de temperatura en profundidad que pueden afectar el proceso de depuración. En climas fríos la vegetación protege de la congelación.

- Las plantas asimilan nutrientes que contribuyen a la eliminación de nutrientes es modesta cuando se tratan aguas residuales urbanas de tipo medio (eliminan entre un 10% del N y un 20% del P).

Para realizar una adecuada selección de las plantas se tiene que tener en cuenta las condiciones climáticas y las características de la región donde se realizará la implementación del sistema.

Así también se debe escoger a especies que tengan un gran factor de colonización, adaptación y tolerantes.

2. Humedales de flujo subsuperficial

Los humedales de flujo subsuperficial (HFSS) y en inglés Vegetated Submerged Bed (VSB), son humedales que tienen una circulación de tipo subterránea, cuentan con un medio granular como grava, arena y la vegetación es variable, este humedal es utilizado para el proceso de descontaminación del agua fundamentalmente, los humedales de flujo subsuperficiales se dividen en 2 tipos: humedales de flujo horizontal y vertical.

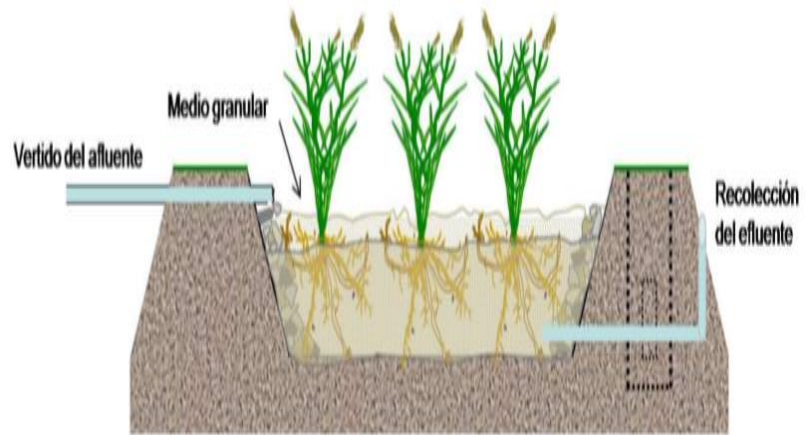


Figura 12 Humedales de flujo subsuperficial de flujo horizontal

Fuente : (García Serrano & Corzo Hernández, 2008)

2.1. Tipos de humedales de flujo subsuperficial

2.1.1. Humedales de flujo horizontal

En los humedales de flujo horizontal la circulación del agua es horizontalmente el cual atraviesa el medio granular, los rizomas y las raíces de las plantas.

Su profundidad del agua de 0,3 y 0,9 m, es un sistema que funciona permanentemente inundada. (García Serrano & Corzo Hernández, 2008)

Los humedales horizontales están compuestos por los siguientes elementos:

1. Estructura de entrada del afluente.
2. Impermeabilización del fondo y laterales, ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada.
3. Medio granular grava o arenas.
4. Vegetación emergente típica de zonas húmedas.
5. Estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua.

2.1.2. Humedales de flujo vertical

Los humedales de flujo vertical son sistemas que tienen una circulación de tipo vertical, su medio granular no está permanentemente inundado y tienen una profundidad de 0,5 y 0,8 m.

La construcción del humedal de flujo vertical es similar al humedal horizontal, adicionalmente se implementan tuberías de aireación.

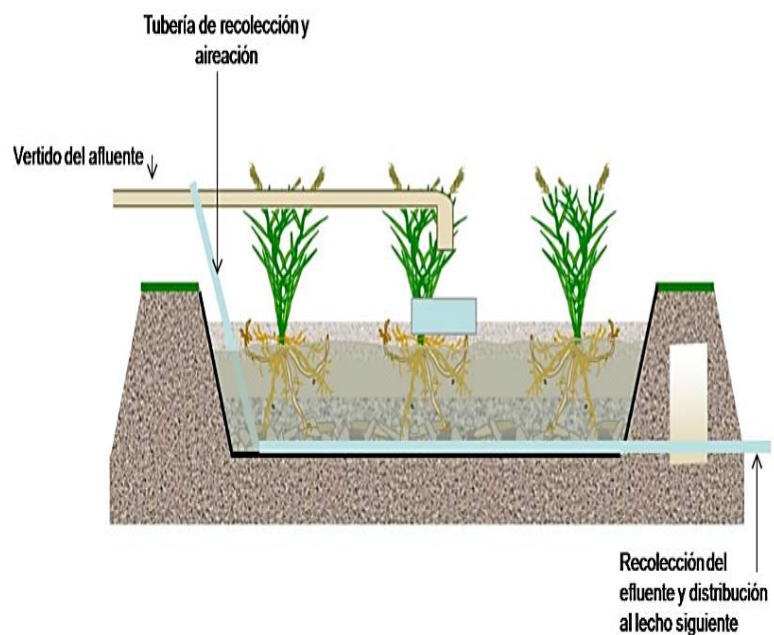


Figura 13 Humedal de flujo subsuperficial vertical
Fuente: (García Serrano & Corzo Hernández, 2008)

Los humedales de flujo subsuperficial vertical están compuestos por los siguientes elementos:

1. Estructura de entrada y salida
2. Medio granular
3. Tuberías de aireación

2.9. Tatora (*Schoenoplectus californicus*)

La tatora (*Schoenoplectus californicus*) es una especie nativa herbácea perenne acuática, su crecimiento es de manera silvestre y cultivada, se puede encontrar en zonas pantanosas, huachaquas, balsares de costa y sierra del Perú. Pueden vivir desde los 0 msnm hasta los 4000 msnm.

En los totorales se puede encontrar una gran variedad de vida silvestre como anfibios sapos y ranas, aves migratorias y residentes, peces de agua dulce como el carachi y la trucha; además de una cantidad de plantas acuáticas como el jacinto de agua, repollo de agua, lirio flotante, entre otros.



Figura 14 Totorales del Lago Titicaca
Fuente: (*Gutierrez Tito, 2014*)

2.9.1. Taxonomía

La taxonomía de la tatora se determinó mediante la identificación realizada por el Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD) a solicitud de la realización de la presente tesis.

Tabla 8 Taxonomía de *Schoenoplectus californicus* (Totora)

TAXONOMÍA	
Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
Filo	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Equitopsida</i>
SubClase	<i>Magnoliidae</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Cyperaceae</i>
Género	<i>Schoenoplectus</i>
Especie	<i>Schoenoplectus californicus</i>

Fuente: (Instituto científico Michael Owen Dillon (IMOD), 2018)

2.9.1.1. Variedades

La variedad de la totora es muy amplia debido a que se puede encontrar en diferentes formas según algunos aspectos externos, como el tallo según su relleno puede ser poroso, fibroso o en secciones, o según su forma que puede ser cilíndrica o triangular. Además, que su uso varía según las características de cada especie, pueden ser usadas para la construcción de balsa, para alimento de ganado, para artesanías.

Algunas denominaciones se pueden encontrar como *Scirpus californicus*, *Thypa angustifolia*, *Schoenoplectus californicus*.

2.9.2. Características morfológicas

La totora es una especie vegetal vascular, tiene las siguientes características:

2.9.2.1. Raíz

Las raíces de la totora son adventicias o aérea ya que esta no surge de la radícula del embrión, sino que se forman a partir de un rizoma maduro y de raíces secundarias las que forman un penacho delgado tienen una coloración marrón y blanco, las raíces ayudan a la totora a tener un anclaje en el sustrato o en el material granular su desarrollo es horizontal. (PELT-ADESU, 2001)



Figura 15 Raíz (*Schoenoplectus californicus*)
Fuente: Elaboración propia

2.9.2.2. Rizoma

El rizoma es un tallo subterráneo modificado que se desarrolla después de la raíz, tiene un color blanco y en algunos casos está cubierto por una capa marrón claro amarillo con nudos a cada 2 a 6 cm. Los rizomas contienen una gran cantidad de sustancias de reserva, las que le permiten a la totora mantenerse durante grandes periodos de sequía. (PELT-ADESU, 2001)



Figura 16 Rizoma (*Schoenoplectus californicus*)
Fuente: Elaboración propia

2.9.2.3. Tallo

La totora tiene un tallo redondo, liso, flexible, liviano, trígono en su parte superior; tiene espacios porosos en el cual se almacena y circula aire con oxígeno, su altura puede llegar a alcanzar 4 metros del cual la mitad del tallo está sumergido en agua, por lo general tienen un color verde, pero cuando están secos pueden llegar a tener un color verde amarillento. (PELT-ADESU, 2001)

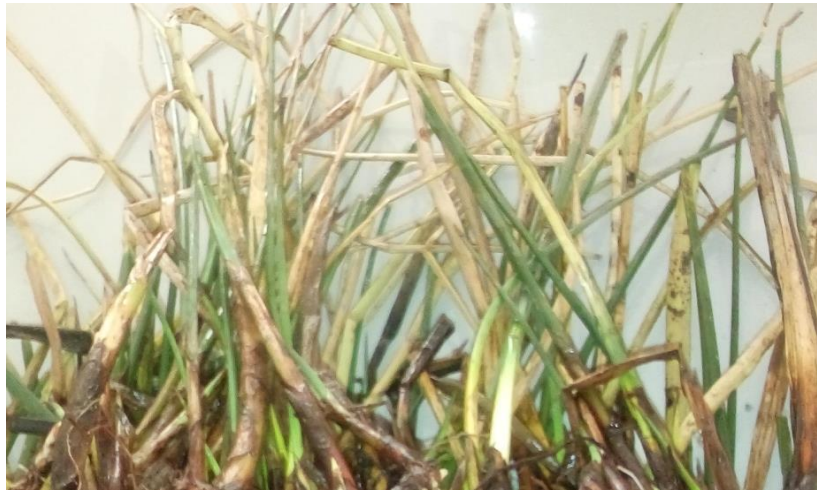


Figura 17 Tallo (Schoenoplectus californicus)
Fuente: Elaboración propia

2.9.2.4. Xilema

Está formada por vasos leñosos o tráqueas, formadas por células alargadas con orificios llamados puntuaciones. (Delgadillo, Camacho, F. Pérez , & Andrade , 2010)

2.9.2.5. Floema

Está constituido por tubos o células cribosas. Entre las células existen tabiques con agujeros que se obturan a bajas temperaturas y dificultan la conducción de sustancias orgánicas. (Delgadillo, et al., 2010)

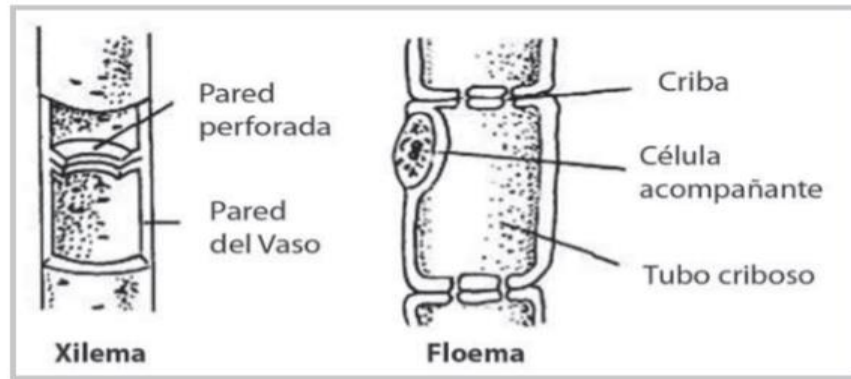


Figura 18 Corte longitudinal del xilema y floema en la totora

Fuente: (Delgadillo, Camacho, F. Pérez , & Andrade , 2010)

2.9.2.6. Inflorescencia

Las flores son hermafroditas y está compuesta por una envoltura floral compuestas por espiguillas ovoides de 3mm agrupadas de un color rojizo pardo oscuro, escamas irregularmente plumoso. (Delgadillo , et al., 2010)



Figura 19 Inflorescencia (*Schoenoplectus californicus*)

Fuente: (Delgadillo, Camacho, F. Pérez , & Andrade , 2010)

2.9.2.7. Reproducción

La reproducción de la totora es sexual mediante las semillas que por lo general no logran su germinación y asexual que se da por reproducción vegetativa por medio del rizoma. (Delgadillo, et al., 2010)

2.9.3. Capacidad depuradora de la totora

La totora tiene una capacidad de reducción de contaminantes en humedales debido a que pertenecen a la familia de las helófitas el cual tienen una alta capacidad de remoción de DBO y DQO, así como la de metales y eliminación de coliformes fecales. (Delgadillo, et al., 2010)

Tabla 9 Capacidad depuradora de la *Schoenoplectus californicus*

Parámetros	Metales pesados	Nitrógeno	Fosfato	Fósforo	Coliformes y bacterias
Ujang et al (2004)	85%				
Soto et al (1999)		22 a 33%	30%	20%	99,9%

Fuente: (Delgadillo, Camacho, F. Pérez , & Andrade , 2010)

2.9.4. Adaptación de la totora

La totora debido a que es perteneciente a la familia de las helófitas tiene una gran adaptación a las diferentes condiciones climáticas y una mayor posibilidad de desarrollo y un mejor acondicionamiento.

Estas plantas son de climas templado a fríos pueden llegar hasta los 4000 msnm y pueden tolerar los diferentes rangos de pH, la temperatura óptima es de los 16°C a 27 °C, pero esta planta puede adaptarse a diferentes tipos de climas y temperaturas como de 0°C a 30°C.

2.9.5. Mecanismo de fitorremediación de la totora

2.9.5.1. Fitoestabilización

La totora utiliza el método de fitoestabilización es un método que reduce los contaminantes en el ambiente como metales entre otros, por medio de la absorción y la acumulación en las raíces de las

plantas, el primer paso para llevar a cabo el proceso es seleccionar a la planta, que acumule pocos contaminantes. (Alcoba Gómez, 2014)

2.9.5.2. Fitoextracción

La especie (*Schoenoplectus californicus*) utiliza el método de fitoextracción o también llamado fitoacumulación, en el que consiste en que las plantas absorban por medio de las raíces y posteriormente concentren en sus tallos y hojas, para realizar la fitoextracción primero se tiene que escoger a la planta adecuada según el contaminante que se encuentre, después de haber extraído el contaminante la incinera la planta y se traslada las cenizas a un vertedero de seguridad como disposición final. (Alcoba Gómez, 2014).

2.9.6. Mecanismos de tolerancia a los metales pesados

- a. **Solubilización:** Está relacionada con la transformación del metal insoluble a una forma soluble, es decir, su transformación de una forma no asimilable a una asimilable. (Nuñez López, 2004)
- b. **Acumulación:** Comprende la captura en el interior de las células donde no tiene efectos tóxicos como en la vacuola y la pared celular; detoxificación interna de los metales a través de la incorporación de proteínas, ácidos orgánicos, histidina y péptidos ricos en grupos tiol denominado fitoquelatinas. (Nuñez López, 2004)

2.9.7. Usos

2.9.7.1. Alimenticio

Los brotes de la totora son utilizados como verdura para diferentes tipos de preparación, además que este posee un gran contenido en yodo.

2.9.7.2. Medicinal

Los tallos son usados como un astringente para controlar diarreas y la fiebre.

2.9.7.3. Artesanal

La totora es usada para hacer diferentes manualidades y artesanías tanto para la venta como para su uso propio como sillas, muebles, canastas, sombreros, botes, entre otros.

2.9.7.4. Construcción

La totora se usa para la construcción de casas como es el caso de la isla de los uros en el lago Titicaca, en otros poblados aledaños al lago Titicaca usan la totora como material de construcción para los techos y cobertizos. En el norte del país usan la totora para la construcción de caballitos para el uso de la pesca artesanal.

2.9.7.5. Forraje

La totora es empleada como uno los principales alimentos para el ganado.

CAPÍTULO III

3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1. Metodología

3.1.1. Método

El método empleado para la presente tesis fue el método hipotético-deductivo, el cual consistió en la aseveración de la hipótesis para poder refutarlas y contrastarlas con las conclusiones. (Bernal Torres, 2010)

3.1.2. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se desarrolló entre los meses de agosto del 2018 a diciembre del 2018.

- La recolección de la especie *Schoenoplectus californicus* se realizó en las riveras del lago Titicaca en el distrito de Ilave –Acora de la provincia el Collao del departamento de Puno con coordenadas UTM 428015.06 E, 8235732.95 N a una altitud de 3825msnm.



Figura 20 Puno – Ilave
Fuente: Google Earth

- La adaptación y la experimentación, se realizó en el laboratorio de la escuela de ingeniería ambiental de la Universidad Nacional de San Agustín.

3.1.3. Materiales

3.1.3.1. Material biológico

Se empleó en total 126 individuos de la especie *Schoenoplectus californicus*, entre de tallo grueso plantas y de tallo delgado plantas, la recolección de estas fueron del lago Titicaca, Ilave-Acora, Puno.

3.1.3.2. Materiales para adaptación de *Schoenoplectus californicus* y para el método humedal de flujo horizontal in-vitro

- Agua corriente
- Grava de aproximadamente 1.5 cm de diámetro
- 7 recipientes de polietileno con medidas, de largo 40 x 24cm de ancho y 50 cm de altura; de 30 litros de capacidad
- 14 baldes de polietileno de 20 litros
- 12 metros de Manguera
- 14 Contratuercas
- 14 gomas de cañerías

3.1.3.3. Reactivos

- Arsénico puro PA 90 %
- Tetra borato de Sodio (Boro) PA 99.99%
- Nutrientes - NPK
- Enraizante Root- Hor

3.1.3.4. Materiales de laboratorio

- Baguetas
- Piseta

- Pinzas
- Probeta de 100 ml, 250 ml
- Vaso precipitado de 100 ml, 250, 1000 ml
- Placas Petri

3.1.3.5. Equipos

- Balanza analítica, marca *LIGHTEVER*
- Multiparámetro modelo *PC TERST 35*, marca *WATERPROOF*

3.1.3.6. Otros materiales

- Baldes grandes
- Cinta masking tape
- Plumón
- Tijera
- Cinta de embalaje
- Tablas de madera
- Jarra
- Cautil
- Baldes pequeños
- Etiquetas
- Guantes descartables
- Mandil
- Bolsas de muestras

3.1.4. Metodología de la investigación

3.1.4.1. Recolección de *Schoenoplectus californicus*

Se realizó la obtención de la especie *Schoenoplectus californicus* en las riveras del lago Titicaca en el sector de Ilave–Acora, Puno. Se realizó la extracción de la siguiente manera:

1. Se recolectó la totora, teniendo cuidado de no cortar las raíces, y de no dañar el resto de la planta.
2. Se realizó el corte de los tallos de 30 cm, se tuvo cuidado de no cortar los brotes nuevos.
3. Se cortó los rizomas en trozos de 15 cm aproximadamente, todos los rizomas tuvieron más de uno o dos brotes.
4. Se realizó el conteo de las plantas extraídas en total se recolectaron 180 plantones con tallo y raíz, 96 plantas de tallo grueso y 84 de tallos delgados.
5. Se transportó los plantones en recipientes adecuados y en un ambiente sombreado para que la planta no sufriera un estrés.

3.1.4.2. Selección y adaptación de la especie

Después que se recolectó la *Schoenoplectus californicus* se procedió:

1. Se transportó en recipientes cerrados al laboratorio de la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Nacional de San Agustín.
2. Se seleccionó 126 individuos para la adaptación y experimentación. Se tomó en cuenta las siguientes condiciones para la selección:
 - Sin anomalías en sus partes (tallo y raíz)
 - Correcta pigmentación de tallo

- Enraizamiento
 - Buen espesor radicular
3. Se lavó la gravilla (1.5 cm - 2 cm), con abundante agua, posteriormente a eso se dejó secar la gravilla hasta que el agua se evaporó.
 4. Se colocó los individuos en los recipientes con grava y posteriormente se le añadió agua con NPK y enraizante.
 5. Posteriormente, se observó en la adaptación, el enraizamiento, el espesor radicular, coloración de tallo, brotes, se realizó la adaptación en un periodo de 2 semanas.



Figura 21 Selección de la especie
Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Preparación de soluciones

Para la preparación de la solución se tuvo que pesar el contaminante, basándose en la relación que existe entre los componentes de la fórmula. Se tomó en cuenta el peso del Arsénico y Boro según el caso y de acuerdo a la cantidad de solución que se requería por cada litro de agua.

1. Arsénico

Para la preparación de solución de arsénico (As) se tomaron en cuenta las siguientes características:

- Compuesto : As
- Masa molar : 74.9216 g/mol
- Pureza : 99.00 %
- Cantidad requerida : 0.8 mg/l -0.4 mg/l

Según sus características se elaboró la siguiente tabla:

Tabla 10 Composición elemental de As

ELEMENTO	PESO ATÓMICO	ATÓMICO	TOTAL	%
As	74.92	1	74.92	100.00
Masa molar (g/mol)			74.92	100.00

Fuente: Elaboración Propia

a. Primera concentración

Relación entre el porcentaje de arsénico (As), con la cantidad de disolución requerida 0.8 mg/l de Arsénico.

$$\begin{array}{r} 0.08 \text{ g} \text{ ——— } 100.00 \% \text{ As} \\ X \text{ ——— } 100.00\% \end{array}$$

Entonces se requiere 0.08 g/l de Arsénico.

Como la fórmula está al 99.00 % se realizó los siguientes cálculos:

$$\begin{array}{r} 0.08 \text{ g} \text{ ——— } 99.00\% \\ X \text{ ——— } 100.00\% \end{array}$$

Entonces se requiere 0.08 g/l de Arsénico.

b. Segunda concentración

Relación entre el porcentaje de arsénico (As), con la cantidad de disolución requerida 0.4 mg/l de Arsénico.

$$\begin{array}{r} 0.04 \text{ g} \text{ ——— } 100.00 \% \text{ As} \\ X \text{ ——— } 100.00\% \end{array}$$

Entonces se requiere 0.04 g/l de Arsénico.

Como la fórmula está al 99.00 % se realizó los siguientes cálculos:

$$\begin{array}{r} 0.04 \text{ g} \text{ ——— } 99.00\% \\ X \text{ ——— } 100.00\% \end{array}$$

Entonces se requiere 0.04 g/l de Arsénico

2. Boro

Para la preparación de solución del boro, se realizó mediante el compuesto de bórax ($\text{Na}_2 [\text{B}_4\text{O}_7(\text{OH})_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), se tomaron en cuenta las siguientes características:

- Compuesto : $\text{Na}_2 [\text{B}_4\text{O}_7(\text{OH})_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- Masa molar : 381.3721 g/mol
- Pureza : 99.99
- Cantidad requerida : 25mg/l – 15mg/l

Según sus características se elaboró la siguiente tabla:

Tabla 11 Composición elemental de Bórax ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_7(\text{OH})_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

ELEMENTO	PESO ATÓMICO	ÁTOMOS	TOTAL	%
B	10.81	4	43.24	11.34
Na	22.99	2	45.98	12.06
O	15.99	17	271.99	71.32
H	1.01	20	20.16	5.29
Masa molar (g/mol)			381.37	100.00

Fuente: Elaboración propia

a. Primera solución

Relación entre el porcentaje de boro (B), con la cantidad de disolución requerida 25 mg/l de boro.

$$\begin{array}{r} 0.025 \text{ g} \text{ ——— } 11.339 \% \text{ B} \\ X \text{ ——— } 100.00\% \end{array}$$

Entonces se requiere 0.22 g/l de Tetraborato de sodio.

Como la fórmula está al 99.99 % se realizó los siguientes cálculos:

$$\begin{array}{r} 0.22 \text{ g} \text{ ——— } 99.99\% \\ X \text{ ——— } 100.00\% \end{array}$$

Entonces se requiere 0.22 g/l de Tetraborato de sodio.

b. Segunda solución

Relación entre el porcentaje de boro (B), con la cantidad de disolución requerida 15 mg/l de boro.

$$\begin{array}{r} 0.015 \text{ g} \text{ ——— } 11.339 \% \text{ B} \\ X \text{ ——— } 100.00\% \end{array}$$

Entonces se requiere 0.13 g/l de Tetraborato de sodio.

Como la fórmula está al 99.99% se realizó los siguientes cálculos:

$$\begin{array}{r} 0.13 \text{ g} \text{ ——— } 99.99\% \\ X \text{ ——— } 100.00\% \end{array}$$

Entonces se requiere 0.13 g/l de Tetraborato de sodio.

3.1.5.1. Exposición de la titora a los contaminantes de As y B

a. Solución madre

Para realizar la preparación de la solución primero se procedió a pesar en la balanza analítica la cantidad de contaminante resultante de los cálculos mencionados (ver ítem 3.1.5.)

- Preparación de la solución madre:
 - En un vaso precipitado de 1000 ml se añade las soluciones de As y B, se remueve con la bageta hasta observar que esté completamente disuelto.
 - Una vez obtenida la solución se mezcla con 9 litros de agua y se vuelve a mezclar.

Después de haber obtenido la solución madre se extrae 1 litro de agua y se le añade 9 litros de agua se mezcla y se vierte 14 litros de al sistema de flujo horizontal.

b. Características

En el humedal de flujo horizontal in vitro se añade 12 kilos de grava de 1.5 cm de diámetro aproximadamente, cada recipiente tiene 18 individuos con un tamaño aproximado de 44 cm, se realizó la medición del tamaño de los individuos semanalmente, también se realizó observaciones evaluando la pigmentación, enraizamiento, brotes y la realización del control de insectos.

c. Evaluación

Los análisis químicos se realizaron cada 31 días en 2 periodos de tiempo, en octubre y noviembre se realizaron según a los métodos de ensayo:

- Para el análisis de agua se realizó en el laboratorio analítico del sur (LAS) - acreditado por INACAL.
- Método 796 EPA 200.7 - Determinación de metales y elemento traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico total.
- Método 802 EPA 200.7 - Determinación de metales y elemento traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales totales.
- Para análisis de tallo-raíz se realizó en el laboratorio certificaciones del Perú (CERPER) – acreditado por INACAL.
- Metales totales ICP-Masa. EPA.METHOD 6020A. Revision 1.2007. inductively coupled plasma-mass spectrometry (preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of Sediments sludge's, soils, and oils).

3.1.6. Diagrama de flujo del proceso de experimentación del humedal del flujo horizontal in vitro.

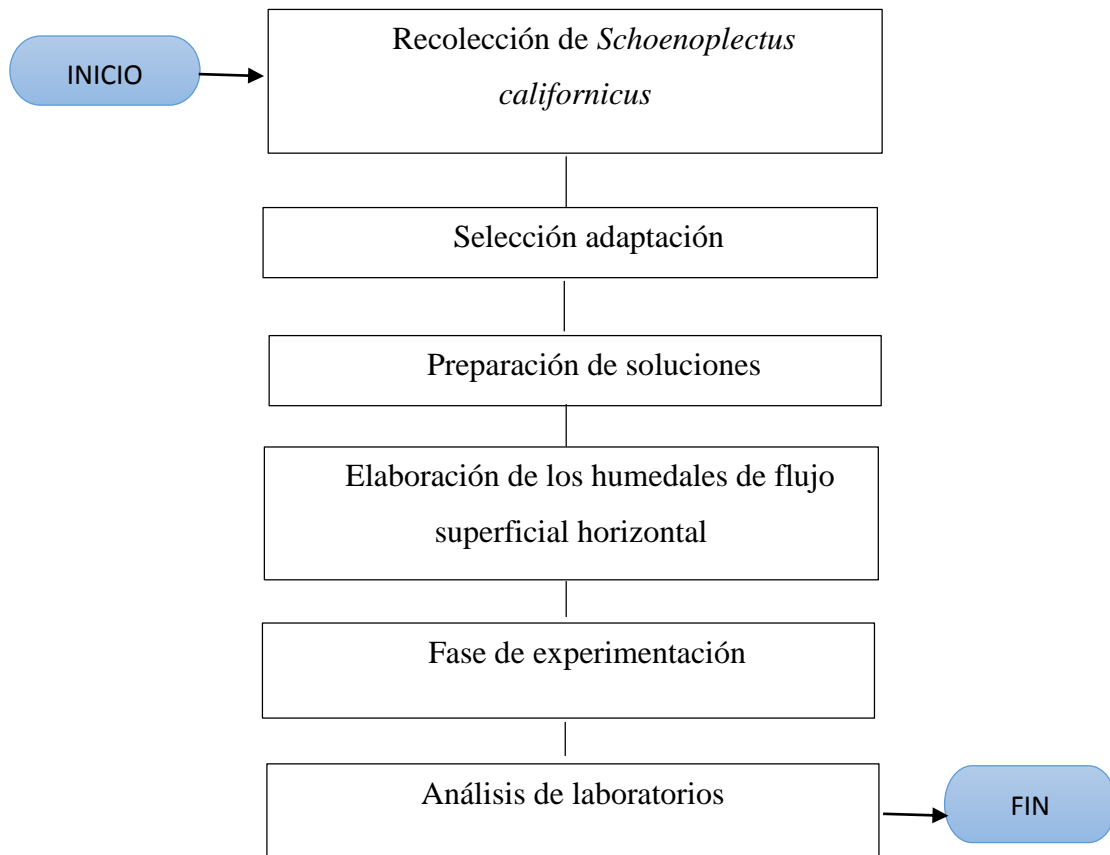


Figura 22 Diagrama de flujo del proceso de experimentación
Fuente: Elaboración propia

3.1.7. Tipo de la investigación

La investigación según su enfoque es de tipo cuantitativa- experimental debido a que se midieron las variables y contó con un control. (Hernández Sampieri, et al. , 2010)

3.1.8. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es explicativo- relación causa efecto, porque explica la relación de la remoción de la totora con la disminución de los contaminantes de arsénico y boro. (Hernández Sampieri, et al. , 2010)

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es experimental del tipo cuasi experimental debido a que contó con un grupo control y con grupos experimentales.

El diseño de la investigación consistió en una unidad experimental (ver figura N° 23) formada por un recipiente de 30 litros de capacidad, 12 kg de grava de 1.5 cm de diámetro aproximado, con 14 litros de la solución que contenía los contaminantes a concentraciones específicas (Ver tabla N° 12) con 18 individuos de totora, y con un caudal de 8.31 l/día.

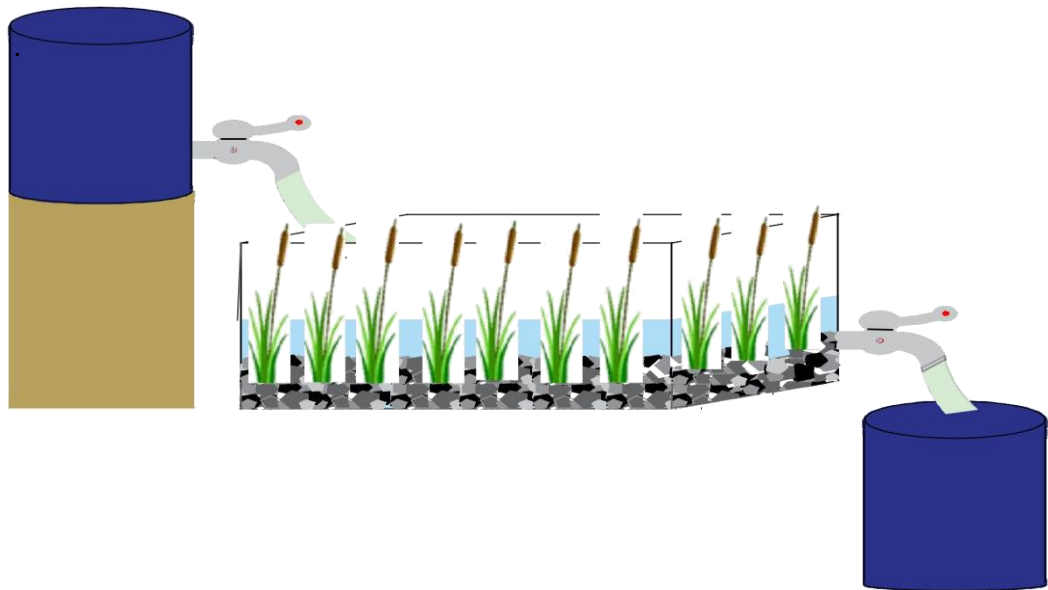


Figura 23 Unidad experimental de trabajo
Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Esquematización del diseño de investigación

El diseño empleado incluyó dos grupos uno que recibe el tratamiento experimental y el otro no (grupo de control). Es decir, la manipulación de la variable independiente alcanza solo dos niveles: presencia y ausencia (Hernández Sampieri, et al. , 2010)

$$0_1 \rightarrow X \rightarrow 0_2$$

$$0_1 \rightarrow - \rightarrow 0_3$$

La única diferencia entre los grupos es la presencia y la ausencia de la variable independiente. La simbología viene representada por:

0₁: El agua con las concentraciones de As y B

X: Tratamiento utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora)

0₂: Prueba con presencia de *Schoenoplectus californicus* (totora)

0₃: Prueba con ausencia de *Schoenoplectus californicus* (totora)

-: Sin tratamiento

3.2.2. Representación del diseño con las concentraciones de As y B en humedales de flujo horizontal in vitro

El diseño del experimento se basó en las concentraciones de arsénico y boro, se aplicó un diseño bifactorial 3 x 2, el cual incluyó repeticiones, que constó de 6 unidades y 1 control. En la tabla 12 se codificó las diferentes repeticiones donde:

- CC: Representa el control el cual está conformado por la totora y con la ausencia de los contaminantes.
- CMBA: Representa la concentración media con los contaminantes de boro arsénico con la incorporación de *Schoenoplectus californicus*.
- CABA: representa la concentración alta con los contaminantes de boro arsénico con la incorporación de *Schoenoplectus californicus*.

Tabla 12 Diseño y codificación de los tratamientos de As y B

Repetición	TRATAMIENTO DE BORO /ARSÉNICO		
	Control (0.0 mg/L de B) (0.0 mg/L de As)	Concentración Media (15 mg/L de B) (0.4 mg/L de As)	Concentración Alta (25 mg/L de B) (0.8 mg/L de As)
1	CC	CMBA-1	CABA-1
2		CMBA-2	CABA-2
3		CMBA-3	CABA-3

Fuente: Elaboración propia

Se realizó 2 tratamientos, una con concentración media de (0.4mg/l de As), (15 mg/l de B), representado por CMBA-1, CMBA-2, CMBA-3, y una

con concentración alta de (0.8mg/l de As), (25 mg/l de B) representado por CABA-1, CABA-2, CABA-3.

3.3. Hipótesis de la investigación

3.3.1. Hipótesis general

Dada la contaminación de cuerpos de agua con arsénico y boro, es posible que la especie *Schoenoplectus californicus* tenga capacidad fitorremediadora para la remoción de arsénico y boro mediante el método de humedales de flujo horizontal in vitro.

3.3.2. Hipótesis específicas

1. Será posible determinar tolerancia de la especie *Schoenoplectus californicus* al As y B.
2. Se podrá determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura) de la exposición de *Schoenoplectus californicus* en humedal de flujo horizontal in vitro.
3. Será posible determinar la capacidad de remoción de As y B por la especie *Schoenoplectus californicus*.
4. Será posible determinar la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para As y B.

3.4. Variables

3.4.1. Variable independiente

- *Schoenoplectus californicus*

3.4.2. Variable dependiente

- Tolerancia de *Schoenoplectus californicus*
- Remoción de As y B en el agua
- Capacidad fitorremediadora de *Schoenoplectus californicus* en tallo y raíz

3.4.3. Variable interviniente

- Tiempo

3.4.4. Operacionalización de las variables

Tabla 13 Operacionalización de variables

Variables	Indicador	Unidad
Variable independiente		
<i>Schoenoplectus californicus</i>	Número de individuos.	Unidad
	Tiempo de exposición	Días
Variable dependiente		
Tolerancia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	Sobrevivencia de individuos y regeneración	Unidad
Remoción de as y b en el agua	Porcentaje de remoción	%
Capacidad fitorremediadora de <i>Schoenoplectus californicus</i> en tallo y raíz	Factor de bioacumulación.	kg/l
	Factor de bioconcentración	kg/l
	Factor de traslocación	

Fuente: Elaboración propia

3.5. Cobertura del Estudio

3.5.1. Población

La población en este estudio se considera a la especie totora (*Schoenoplectus californicus*) de la provincia del Collao, departamento Puno, Perú.

3.5.2. Muestra

La muestra comprende la especie totora (*Schoenoplectus californicus*) del sector del lago titica centro poblado Chuquitanga del distrito de Ilave – Acora – Puno, se utilizó 18 individuos de totora para las muestras de cada tratamiento.

3.5.3. Muestreo

- Muestreo de individuos para el tratamiento: Se realizó un muestreo no probabilístico ya que se escogieron y recolectaron 180 plantones según algunas características necesarias para su adaptación, en una zona distante de la carretera, pero accesible para la recolección.
- Muestreo para análisis de agua y de plantas: Se realizó un muestreo aleatorio y puntual.

3.6. Técnicas e instrumentos

3.6.1. Técnicas de la investigación

- Técnica documental, esta técnica se usó para la recolección de datos e información durante la presente investigación.
- Técnica de observación no estructurada, se utilizó debido a que permite realizar la observación de una forma no estructurada.
- Técnica de entrevista semi-estructurada, se utilizó esta técnica debido a que se contaba con una guía de preguntas establecidas y se adicionaron preguntas no contempladas.

3.6.2. Instrumentos de la investigación

- Revisión bibliográfica (tesis, libros, páginas web)
- Libreta de notas, cuaderno de campo
- Computadora, USB
- Dispositivos: Cámara fotográfica, grabador de audio

3.6.3. Fuentes

- Primaria: Se consultó especialista del área de biología, biotecnología y de recursos hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

- Secundaria: se consultaron documentos referentes al área de investigación como tesis, artículos científicos, revistas científicas.
- Terciaria: se observaron reportajes, noticias, documentales referentes al tema de investigación.

3.7. Procesamiento estadístico de la información

3.7.1. Estadísticos

El diseño de la investigación fue mediante el Diseño Completamente Randomizado o al azar (DCR) debido a que las variables intervinientes estarán completamente bajo control en condiciones de laboratorio. Se utilizará el estadístico F para la contrastación de la hipótesis.

3.7.2. Representación

La representación de resultados se efectuó mediante, tablas, figuras en barra y figuras en línea de tendencia en base a los resultados.

3.7.3. Técnica de comprobación de la hipótesis

Se empleó el Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado para analizar la diferencia de medias de concentraciones de As y B en agua según el tiempo.

CAPITULO IV

4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados

Los resultados obtenidos han sido distribuidos en figuras estadísticas para su mejor comprensión.

4.1.1. Determinación de la tolerancia de *Schoenoplectus californicus* al As y B

Para determinar la tolerancia de la totora al As y B se realizó mediante la evaluación de la sobrevivencia de individuos y la regeneración.

A. Sobrevivencia de individuos

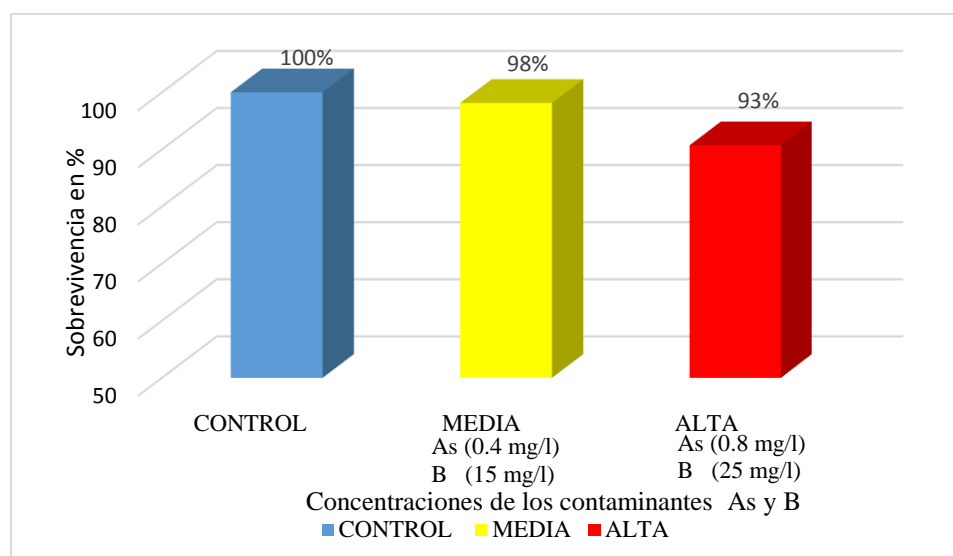


Figura 24 Sobrevivencia de individuos de *Schoenoplectus californicus* expuesta a diferentes concentraciones de As y B en Humedal de flujo horizontal in vitro.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 24 se observa que la sobrevivencia de individuos en el transcurso de la investigación las cuales estuvieron en las mismas condiciones de trabajo, con mayor porcentaje se registró en la concentración media un 98 % además en la concentración alta se registró un 93 % de sobrevivencia. Dicha evaluación conto con un control donde se registró una sobrevivencia del 100 %.

B. Regeneración por unidad

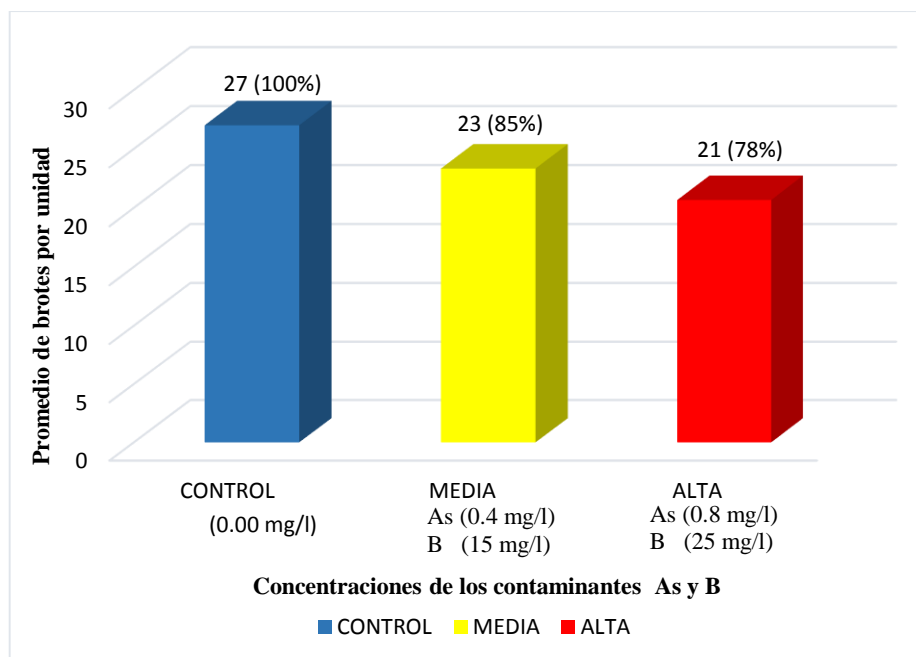


Figura 25 Promedio de brotes por unidad experimental de individuos de *Schoenoplectus californicus* expuesta a diferentes concentraciones de As y B en humedal de flujo horizontal in vitro.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 25 se aprecia el número de brotes obtenidos en el transcurso de la investigación las cuales estuvieron en las mismas condiciones de trabajo, para el caso del control se obtuvo 27 brotes (100%), seguidamente por la concentración media con 23 brotes (85%) y el menor número de brotes obtenidos fue la concentración alta con 21 brotes (78%).

4.1.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura) de la exposición de *Schoenoplectus californicus* en humedal de flujo horizontal in vitro.

Los parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura, se registraron diariamente durante la investigación con la ayuda del multiparámetro, todas las concentraciones estuvieron en las mismas condiciones de trabajo.

A. Determinación de pH en función del tiempo

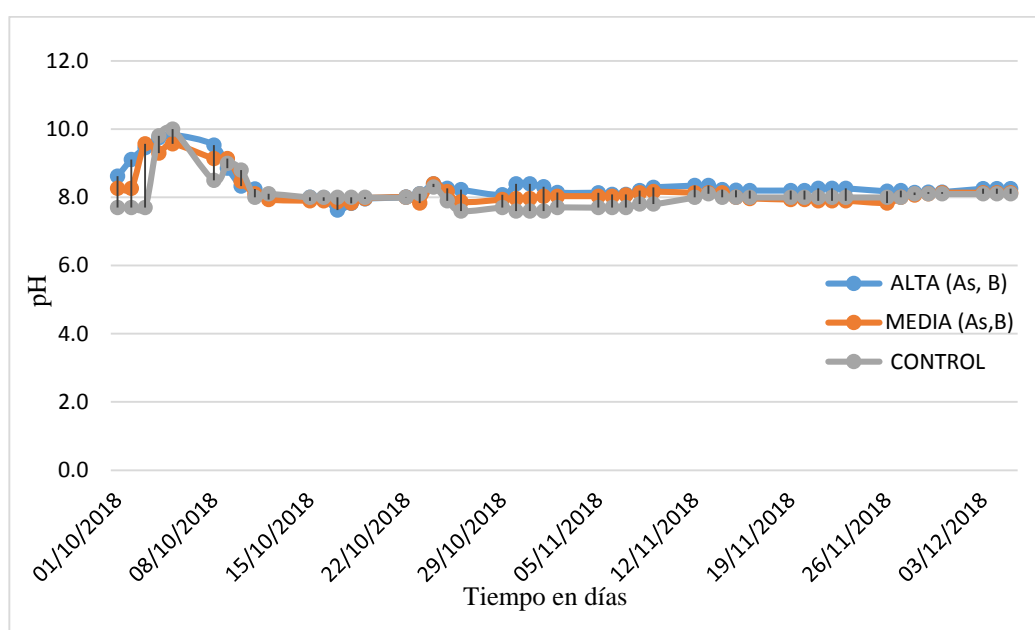


Figura 26 Variación de pH en función de tiempo de *Schoenoplectus californicus* expuesta a diferentes concentraciones de As y B en humedal de flujo horizontal in vitro.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 se aprecia la variación de pH para las distintas concentraciones de As y B. Los niveles de pH nos indican la solubilidad del As y el B, según el registro los niveles de pH incremento en la primera semana teniendo un rango de pH, en el control un pH de 7.7 a 9.8, en la concentración media un rango de 8.3 a 9.6 y en la concentración alta un rango de 8.6 a 9.7, estabilizándose en la segunda semana hasta el término de la investigación finalizando en la última semana con un pH, en el control de pH 8, en la concentración media un pH de 8.1, la concentración alta un pH de 8.3.

B. Determinación de conductividad eléctrica en función del tiempo

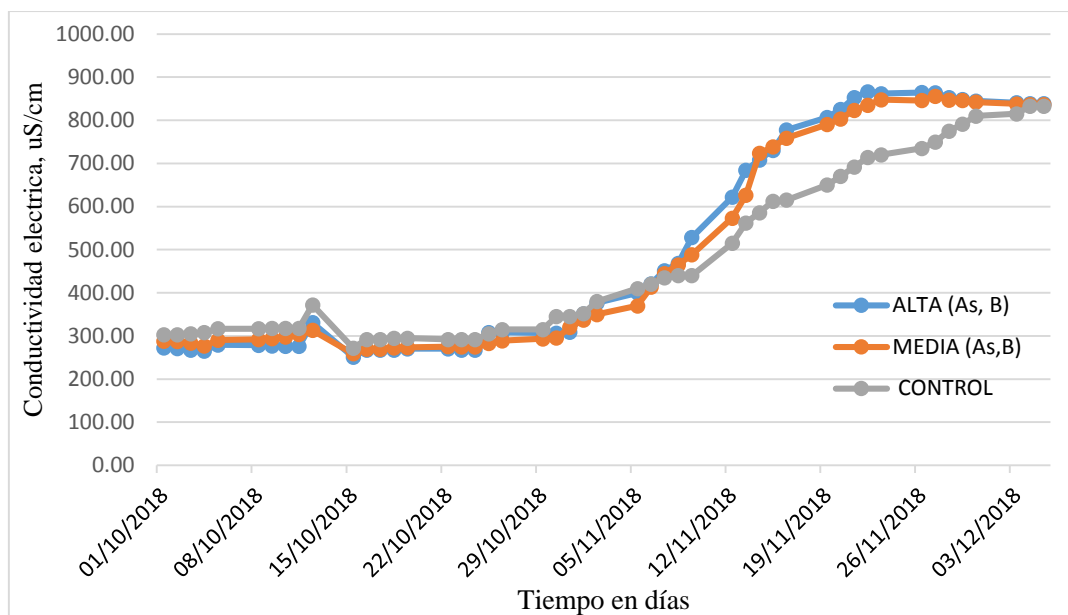


Figura 27 Variación de conductividad eléctrica en función de tiempo de *Schoenoplectus californicus* expuesta a diferentes concentraciones de As y B en humedal de flujo horizontal in vitro.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se muestra los niveles de conductividad eléctrica registrados para las diferentes concentraciones de As y B en función del tiempo de exposición. La conductividad al inicio registró en el control un valor de 303 uS/cm, concentración media un valor de 288 uS/cm y en la concentración alta un valor de 273 uS/cm, en el segundo mes se registró un incremento en los niveles de evaluación llegando a los rangos en el control de 410 a 833 uS/cm, en la concentración media de 370 a 836 uS/cm y en la concentración alta de 400 a 839 uS/cm.

C. Determinación de la temperatura en función del tiempo

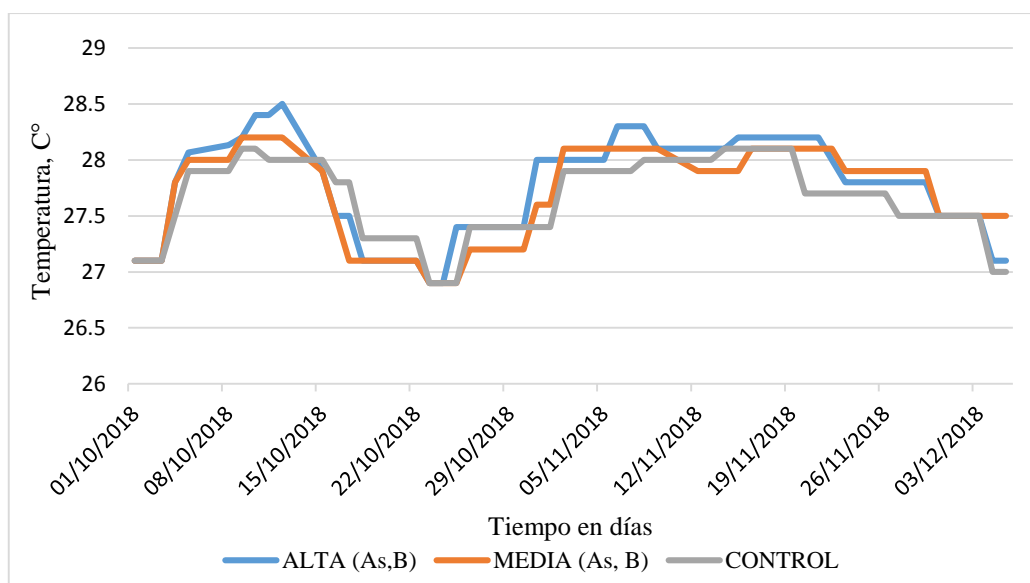


Figura 28 Variación de temperatura de tiempo de *Schoenoplectus californicus* expuesta a diferentes concentraciones de As y B en humedal de flujo horizontal in vitro.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 28 se aprecia la variación de la temperatura en función del tiempo de exposición durante la evaluación del tratamiento. Se pudo observar que las concentraciones en la primera semana tuvieron un rango de temperatura de 27.1 °C a 28 °C, en la segunda semana se observa un incremento teniendo un rango de 27.9 a 28.5 °C, en la tercera semana se observa un descenso en la temperatura de 28.5 a 27.1 °C, en la cuarta semana se volvió a registrar un descenso de 27.1 a 26.9 °C y un incremento de 26.9 a 27.4 °C, en la quinta semana se observa un incremento con un 27.4 a 28.1 °C, en la sexta semana se tuvo un ligero aumento de temperatura de 28 a 28.1 °C, en la séptima semana se observa un ligero aumento de 28.1 a 28.2 °C y un descenso de 28.2 a 27.7 °C, en la octava se tuvo un descenso de 27.8 a 27.5 °C y en la novena semana se tuvo una temperatura de 27.5 °C.

4.1.3. Determinación de la capacidad de remoción de metales pesados (As y B) por la *Schoenoplectus californicus*.

A. Remoción de As en función de tiempo y concentración

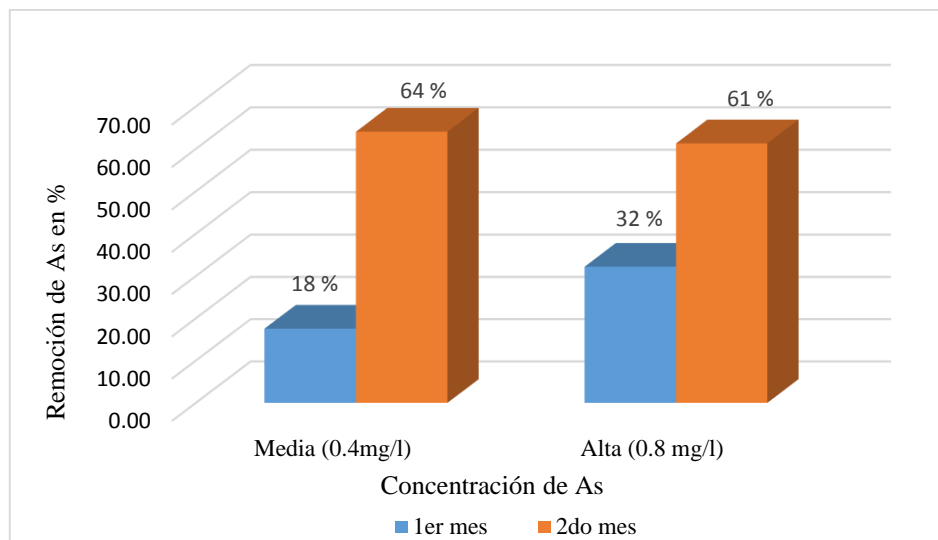


Figura 29 Remoción de As del agua en función de tiempo y concentración
Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 se muestra la remoción del arsénico del agua en función del tiempo, se registró una remoción en la concentración media en el primer mes (18 %), segundo mes (64 %) y en la concentración alta se registró una remoción, en el primer mes (32 %), segundo mes (61 %).

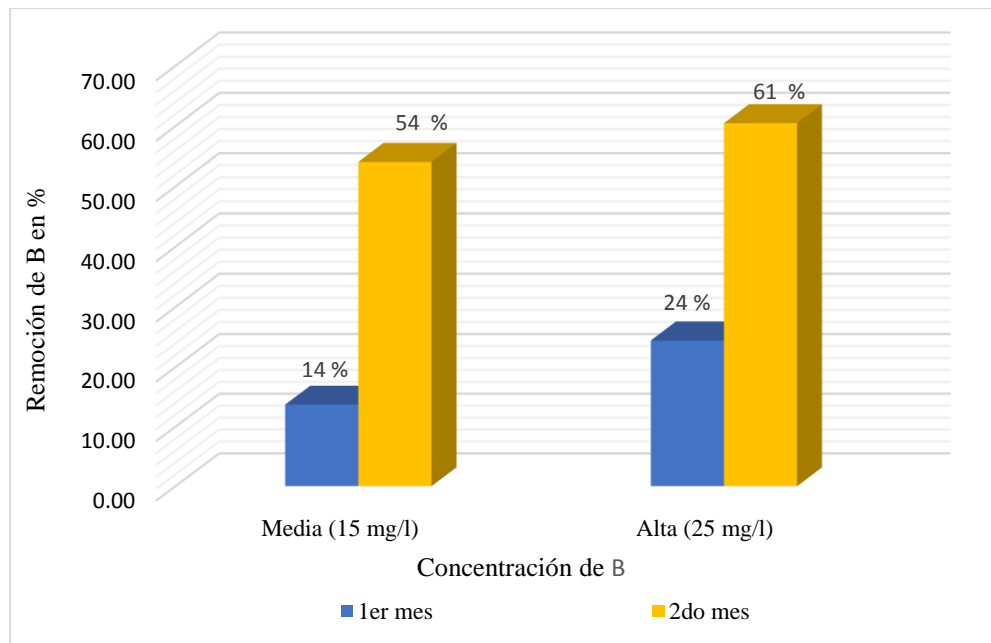
B. Remoción de B en función del factor tiempo representada en porcentaje

Figura 30 Remoción de B del agua en función de tiempo y concentración
Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se muestra la remoción del boro del agua en función de tiempo, se registró una remoción en la concentración media en el primer mes de 14 %, segundo mes de 54 % y en la concentración alta se registró una remoción, en el primer mes de 24 %, segundo mes de 61 %.

4.1.4. Determinación de la capacidad fitorremediadora de *Schoenoplectus californicus* para el As y B

La capacidad fitorremediadora se mide mediante los factores de bioacumulación, bioconcentración y traslocación (ver ítem 2.7.7.), en cual se analizó el comportamiento de los contaminantes de As y B en la especie *Schoenoplectus californicus*.

A. Capacidad fitorremediadora de la *Schoenoplectus californicus* para arsénico

Tabla 14 Capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para arsénico en humedal de flujo horizontal *in vitro*.

CÓDIGO	ARSÉNICO	[C] de As en el TALLO	[C] de As en la RAIZ	FACTOR DE BIOACUMULACIÓN (FBA)	FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN (FBC)	FACTOR DE TRASLOCACIÓN (FT)
CABA-1		23.40 mg/kg	92.70 mg/kg			
CABA-2	ALTA (0.8 mg/l)	16.30 mg/kg	30.90 mg/kg	24.81 kg/l	77.25 kg/l	0.32
	PROMEDIO	19.85 mg/kg	61.80 mg/kg			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se observa que el factor de bioacumulación (FBA) obtuvo 24.81 kg/l, debido a que el valor es mayor a 1 significa que se comporta como una planta acumuladora con el As. En el caso del factor de bioconcentración (FBC), se obtuvo 77.25 kg/l, como el valor es mayor a 1 significa que existen mecanismo que concentran el elemento en el tallo.

En el caso del factor de translocación (FT) la medición se realizó en el tallo (parte aérea) y en la raíz obteniendo un valor de 0.32, el valor es inferior a 1 lo que significa que existe una restricción en el transporte de la raíz a tallo y el metal queda inmovilizado en la raíz.

- Debido a que el factor de bioconcentración (FBC) es mayor que 1, pero el factor de traslocación (FT) es menor a 1, significa que la especie *Schoenoplectus californicus* es apta para la fitoestabilización del As.

B. Capacidad fitorremediadora de la *Schoenoplectus californicus* para boro

Tabla 15 Capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para boro en humedal de flujo horizontal in vitro.

CÓDIGO	BORO	[C] de B en el TALLO	[C] de B en la RAÍZ	FACTOR DE BIOACUMULACIÓN (FBA)	FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN (FBC)	FACTOR DE TRASLOCACIÓN (FT)
CABA-1		388 mg/kg	425 mg/kg			
CABA-2	ALTA (25 mg/l)	668 mg/kg	495 mg/kg	21.12 kg/l	18.40 kg/l	1.15
	Promedio	528 mg/kg	460 mg/kg			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 se observa que el factor de bioacumulación (FBA) obtuvo 21.12 kg/l, debido a que el valor es mayor a 1 significa que se comporta como una planta acumuladora con el B. En el caso del factor de bioconcentración (FBC), se obtuvo 18.40 kg/l, como el valor es mayor a 1 significa que existen mecanismo que concentran el elemento en el tallo.

En el caso del factor de translocación (FT) la medición se realizó en el tallo (parte aérea) y en la raíz obteniendo un valor de 1.15, el valor es superior a 1 lo que significa el transporte de la raíz a tallo y el B queda inmovilizado en el tallo.

- Debido a que el factor de bioconcentración (FBC) es mayor que 1 y el factor de traslocación (FT) es mayor a 1, significa que la especie *Schoenoplectus californicus* es apta para la fitoextracción del B.

4.2. Análisis económico

4.2.1. Presupuesto del humedal de flujo horizontal in vitro

En la tabla 16 se puede apreciar los costos de los materiales del diseño experimental del humedal de flujo horizontal in vitro para la realización de la investigación se tuvo un presupuesto de S/. **6,286.50** soles.

Tabla 16 Presupuesto del diseño experimental del Humedal de Flujo Horizontal- in vitro

N°	Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Materiales para la construcción de humedales de flujo horizontal-in vitro					
1	Plantas de Totora	Unidad	180	S/ 0.20	S/ 36.00
2	Recipientes cuadrados	Unidad	7	S/ 23.00	S/ 161.00
3	Boro	Gramos	500	S/ 0.01	S/ 5.00
4	Arsénico	Gramos	20	S/ 1.00	S/ 20.00
5	Grava de río	Kilos	120	S/ 0.50	S/ 60.00
6	Nutriente (NPK)	Litros	0.25	S/ 10.00	S/ 2.50
7	Enraizante Root- Hor	Litros	0.25	S/ 20.00	S/ 5.00
8	Baldes grandes	Unidad	14	S/ 5.00	S/ 70.00
9	Pilones de plástico	Unidad	14	S/ 3.50	S/ 49.00
10	Cinta teflón	Unidad	1	S/ 2.00	S/ 2.00
11	Manguera de plástico	Metros	12	S/ 1.80	S/ 21.60
12	Contratuercas	Unidad	14	S/ 2.00	S/ 28.00
13	Goma de cañerías	Unidad	14	S/ 1.00	S/ 14.00
14	Baldes grandes	Unidad	2	S/ 5.00	S/ 10.00
15	Cinta masking tape	Unidad	1	S/ 2.00	S/ 2.00
16	Plumón	Unidad	1	S/ 1.50	S/ 1.50
17	Cúter	Unidad	1	S/ 2.00	S/ 2.00
18	Tijera	Unidad	1	S/ 1.00	S/ 1.00
19	Cinta de embalaje	Unidad	1	S/ 2.00	S/ 2.00
20	Tablas de madera	Unidad	2	S/ 10.00	S/ 20.00
21	Jarra	Unidad	1	S/ 9.00	S/ 9.00
22	Cautil	Unidad	1	S/ 13.00	S/ 13.00
23	Baldes pequeños	Unidad	2	S/ 2.00	S/ 4.00
24	Etiquetas	Unidad	21	S/ 0.10	S/ 2.10
25	Guantes descartables	Unidad	10	S/ 0.50	S/ 5.00
26	Mandil	Unidad	1	S/ 40.00	S/ 40.00
27	Bolsas de muestra	Unidad	3	S/ 1.00	S/ 3.00
Materiales de laboratorio					
28	Bagueta	Unidad	3	S/ 6.00	S/ 18.00
29	Piseta	Unidad	1	S/ 16.00	S/ 16.00
30	Pinzas	Unidad	1	S/ 35.00	S/ 35.00
31	Probeta de 100 ml	Unidad	2	S/ 35.00	S/ 70.00
32	Probeta de 250 ml	Unidad	2	S/ 35.00	S/ 70.00
33	Vaso precipitado de 100 ml	Unidad	2	S/ 10.00	S/ 20.00
34	Vaso precipitado de 250 ml	Unidad	2	S/ 10.00	S/ 20.00
35	Vaso precipitado de 1000 ml	Unidad	2	S/ 10.00	S/ 20.00
36	Placas Petri	Unidad	4	S/ 1.00	S/ 4.00
Equipos de laboratorio					
37	Balanza analítica, marca LIGHTEVER	Unidad	1	S/ 190.00	S/ 190.00
38	Multiparámetro, marca WATERPROOF	Unidad	1	S/ 510.00	S/ 510.00
Análisis químico					
39	Análisis para 1° muestra de metales y elementos traza en aguas residuales	-	-	-	S/ 714.00
40	Análisis para 2° muestra de metales y elementos traza en aguas residuales	-	-	-	S/ 870.00
41	Análisis de muestra de tallo y raíz	-	-	-	S/ 542.80
Mano de obra					
42	Investigador	Mensual	3	S/ 500.00	S/ 1500.00
43	Ayudante	Mensual	3	S/ 250.00	S/ 750.00
Gastos					
44	Traslado y viáticos al sitio	-	-	-	S/ 60.00
45	Transporte de la totora	-	-	-	S/ 30.00
46	Transporte de los materiales	-	-	-	S/ 50.00
Total					S/ 6,286.50

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Estimación de presupuesto de la construcción e implementación del humedal de flujo horizontal in vivo

Se estimó el costo de la construcción y operación del humedal de flujo superficial para un volumen de 140 m³ con una profundidad de 70 cm, de largo 10.36 m y ancho 10.36 m, en la tabla 17 se detallan los costos estimados. (Andreo Martínez, 2014)

Tabla 17 Estimación de costos por actividad de la construcción e implementación del Humedal de Flujo Horizontal in vivo

Actividad	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Limpieza del terreno				
Limpieza manual	m ²	10.36	S/ 3.65	S/ 37.81
Movimiento de tierra				
Trazo y replanteo	m ²	10.36	S/ 9.00	S/ 93.24
Excavación	m ²	10.36	S/ 25.00	S/ 259.00
Levantamiento del campo				
Concreto ,arena, acero	Kg	-	-	S/ 510.00
Materiales de impermeabilización				
Geotextil (500g/m2)	m ²	10.36	S/ 30.00	S/ 310.80
Lamina de polietileno GALGA 400	m ²	10.36	S/ 30.00	S/ 310.80
Jardinería y especies vegetales				
Grava de río de 1.5 cm	Kg	500	S/ 0.50	S/ 250.00
Obtención, adaptación de <i>Schoenoplectus californicus</i>	Unidad	180	S/ 0.40	S/ 72.00
Siembra de especie <i>Schoenoplectus californicus</i>	Unidad	180	S/ 1.50	S/ 270.00
Fontanería				
Llaves de paso 75	Unidad	2	S/ 50.00	S/ 100.00
Llave anti retorno	Unidad	2	S/ 12.00	S/ 24.00
Bombas sumergibles	Unidad	1	S/ 250.00	S/ 250.00
			TOTAL	S/ 2,487.65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Estimación de gastos generales realizados anualmente del Humedal de Flujo Horizontal in vivo

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Mano de Obra	Unidad	12	S/ 460.00	S/ 5,520.00
Multiparametro modelo <i>PC TERST 35</i> , marca <i>WATERPROOF</i>	Unidad	1	S/ 510.00	S/ 510.00
Equipos de protección personal	Unidad	4	S/ 200.00	S/ 800.00
Transporte	Unidad	-	S/ 500.00	S/ 500.00
			TOTAL	S/ 7,330.00

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la mano de obra se realiza diariamente para el registro de mediciones pH, conductividad eléctrica y temperatura, por ello se le pagara el jornal de medio tiempo que es S/. 460.00.

Tabla 19 Estimación del mantenimiento anual del Humedal de Flujo Horizontal in vivo

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Mano de obra semestral	Unidad	2	S/ 100.00	S/ 200.00
Mantenimiento de bombas y llaves de paso	Unidad	2	S/ 250.00	S/ 500.00
Limpieza del humedal y de algas	Unidad	2	S/ 50.00	S/ 100.00
			TOTAL	S/ 800.00

Fuente: Elaboración propia

El costo de operación y mantenimiento se realiza una vez cada 6 meses y dependerá del personal que se disponga para realizar las actividades de limpieza.

Tabla 20 Estimación de costo total del Humedal de Flujo Horizontal in vivo

Costos	Total en soles
Costo directo	S/ 2,487.65
Gastos general anual	S/ 7,330.00
Mantenimiento anual	S/ 800.00
TOTAL	S/ 10,617.65

Fuente: Elaboración propia

El costo total del proyecto anualmente será de **S/ 10,617.65**.

4.3. Discusión de resultados

El presente trabajo de investigación, inició con la recolección de la especie *Schoenoplectus californicus* (tatora) de las riveras del lago Titicaca de la zona de Ilave-Acora Puno, posteriormente se identificó y seleccionó 126 tallos y raíces de la planta, para luego proceder a su adaptación que consistió en ponerlo en un medio con grava y se le adicionó el enraizante rotor y nutriente.

Durante el desarrollo del trabajo se realizó 3 repeticiones por cada grupo experimental contando con un grupo control, estando en las mismas condiciones de trabajo.

4.3.1. Determinación de tolerancia de *Schoenoplectus californicus* al As y B.

La determinación de la tolerancia de la especie *Schoenoplectus californicus* a los contaminantes se midió mediante la sobrevivencia de individuos (Figura 24) y la regeneración representada por el promedio de brotes (Figura 25) (ítem 4.1.1).

- La sobrevivencia de individuos fue significativa la diferencia entre la concentración media de 98 % y la concentración alta de 93 %, a comparación al control que se registró un 100% de sobrevivencia, de los registros observados de As y B se infiere que a mayor concentración menor es la sobrevivencia de individuos. Esto se debió a que las altas concentraciones de As, B dan como resultado clorosis, crecimiento débil de las plantas y puede incluso ocasionar reducción en la captación de los nutrientes, así como desórdenes en el metabolismo y un estrés oxidante en las plantas causando una mortandad en las plantas. (Chaudri, et al., 2000).
- En la regeneración representada por el promedio de brotes por unidad experimental, se observó una diferencia significativa entre la concentración media de 23 brotes (85 %) y la concentración alta de 21 (78%) brotes y el control de 27 brotes (100%). De los resultados se deduce que a mayor concentración menor es el número de cantidad de brotes, esto debido a que el estrés por As y B afecta a la fotosíntesis y a

la fluorescencia (Monni, et al., 2001), en el caso del arsénico interfiere en el proceso metabólico y disminuye la germinación de las semillas (Franco Hernández, et al. 2010, Smith, et al. 2010). Consecuentemente, el crecimiento y los brotes de las plantas se reducen (Gardea Torresdey, et al., 2005).

4.3.2. Determinación de parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura) de la exposición de *Schoenoplectus californicus* en humedal de flujo horizontal in vitro.

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos de la exposición de la especie *Schoenoplectus californicus* en humedal de flujo horizontal in vitro (Ítem 4.1.2) se midieron pH, CE, temperatura.

- Para la determinación de pH en función del tiempo (Figura 26), se observó en los primeros días un aumento en el pH, esto se debió a que en la primera semana se incorporó nutriente y enraizante (ver Anexo N° 7) para mejorar la evolución de la planta, lo que causó el incremento del pH al inicio del tratamiento, en las posteriores semanas se observó que los niveles de pH se estabilizaron estando en el rango de pH de 8.1 a 8.3. Es importante mencionar el pH para el As, debido a que tiene un rango máximo de solubilidad de pH 6 a 8.8 (Smedley P.L., 2002) lo que indicó que ha estado completamente soluble, para el caso del B tiene un rango máximo de solubilidad de pH 6 a 8 (Malavolta, et al., 1997), lo que indicó que ha estado ligeramente soluble en el medio.
- En la determinación de conductividad eléctrica en función del tiempo (Figura 27) se observó un aumento progresivo en el segundo periodo de evaluación, en el cual los niveles de las concentraciones estuvieron altos en CE esto significa que estuvieron expuestas a las mismas condiciones de trabajo. El aumento de la CE se debió a que los recipientes utilizados eran cerrados, generando un microclima interno lo cual genera una mayor degradación, por lo tanto, un aumento en la materia orgánica (M.O), liberando sustancias como sales, iones de amonio y nitratos

(Sánchez Monedero, et al., 2001), lo que provocó el aumento de la CE progresivamente alcanzo los niveles de 800uS/cm.

- En la determinación de la temperatura (Figura 28) se muestra una variación de las temperaturas en función del tiempo, esto se debe a que las diferentes lecturas se hicieron en horas de la mañana y la tarde debido a la disponibilidad del área donde se desarrolló la investigación, el incremento de la temperatura también se debió al tamaño de los recipientes ya que estos generaron un microclima interno lo cual provoco un aumento en las temperaturas, es importante medir los niveles de temperatura ya que existe una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica (Bueno Márquez, et al., 2010). Las temperaturas más altas son de 28.5°C las cuales se registraron en las horas de la mañana y otras se registraron en horas de la tarde con 26.9 °C.

4.3.3. Determinación de la capacidad de remoción de metales pesados (As y B) por la *Schoenoplectus californicus*.

- En la determinación de la capacidad de remoción de metales pesados (Ítem 4.1.3.). En la remoción de arsénico (Figura 29) se observó que hubo una remoción mayor en el segundo mes, en la concentración media se registró una mayor remoción con el 64%, a comparación de la concentración alta que obtuvo 61%, esto se debería a que la planta está llegando a un nivel de saturación en la concentración alta lo que provoca una disminución en el nivel de remoción. Respecto a los resultados obtenidos se podría hacer una comparación con el valor reportado de la tesis (Escobar, 2013) que usando 1mg/l de As registró una remoción de 75% en una intoxicación de 14 días con 37 individuos, a diferencia del presente estudio la mayor remoción fue de 61 %, con una concentración de 0.8 mg/l y con 18 individuos, de esto se infiere que a mayor cantidad de individuos se da una mayor absorción de contaminante.

- En la remoción del boro (Figura 30) se observó que hubo una remoción mayor en el segundo mes, a comparación de la remoción del As en la concentración alta se registró una mayor remoción del 61% y la concentración media un 54 %, lo que indica que para el B no se presentó un nivel de saturación. Respecto a los resultados obtenidos se podría hacer una comparación con el valor reportado de la tesis (Garay Aparicio, 2017) que teniendo 40.26 mg/l de B registró una remoción de 89 % en una intoxicación de 3 semanas usando Jacinto de agua con 7 individuos, a comparación del tratamiento usado para la totora (*Schoenoplectus californicus*), en un periodo de 2 meses, con 18 individuos registro una remoción de 61% , tanto el Jacinto de agua como la totora tienen una gran capacidad de remoción de B.

4.3.4. Determinación de la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para metales pesados (As y B)

- En la determinación de la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para el As y B (Ítem 4.1.4), se observó la capacidad fitorremediadora de la totora en As (Tabla 14), se obtuvo en el factor de bioacumulación (FBA) de 24.81 kg/l dado que el valor es superior a 1 significa que la totora (*Schoenoplectus californicus*) es una planta acumuladora, para el factor de bioconcentración (FBC) se obtuvo 77.25 kg/l el valor es superior a 1 lo que indica que existen mecanismos que concentran elemento en el tallo y en el factor de translocación (FT) se obtuvo 0.32, se observó que el valor es inferior a 1 lo que significa que existe una restricción en el transporte de raíz a tallo (Alcoba Gómez, 2014), por lo cual inmoviliza al As en la raíz, lo que significa que la especie *Schoenoplectus californicus* es apta para la fitoestabilización del As.
- En la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para boro (Tabla 15), se obtuvo en el factor de bioacumulación (FBA) 21.12 kg/l dado que el valor es superior a 1 significa que la totora (*Schoenoplectus californicus*) es una planta acumuladora, para el factor de bioconcentración (FBC) obtuvo 18.40

kg/l el valor es superior a 1 lo que indica que existen mecanismos que concentran elemento en el tallo y en el factor de translocación (FT) se obtuvo 21.12, se observó que el valor es superior a 1, lo que significa existe mecanismo de transporte de raíz a tallo (Alcoba Gómez, 2014), por lo cual inmoviliza al B en su tallo, posee un potencial para la fitoextracción con el B significa que la especie *Schoenoplectus californicus* es apta para la fitoextracción del B.

4.4. Contrastación de Hipótesis

La contrastación de hipótesis se realizó mediante el método de análisis de varianza (ANOVA) de un factor y dos factores, con una confiabilidad del 95% y un margen de error al 5% equivalente a 0,05.

4.4.1. Determinación de la tolerancia de la especie *Schoenoplectus californicus* al As y B.

- Sobrevivencia de individuos según el tiempo
 - **H₀**: No existe diferencia estadística entre la sobrevivencia de individuos según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.
 - **H₁**: Existe diferencia estadística entre la sobrevivencia de individuos según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.

Tabla 21 ANOVA- *Sobrevivencia de individuos en función del tiempo*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	173.798	2	86.899	4.745	0.039	4.256
Dentro de los grupos	164.658	9	18.295			
Total	338.456	11				

Fuente: Elaboración propia

Se observó en la (tabla 21) que el valor de F es 4.745 al valor crítico de F 4.256 el cual tiene una significancia mayor por lo tanto se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa. Por ende, se rechaza H₀ y se afirma H₁.

- Regeneración según el tiempo

- **H₀**: No existe diferencia estadística entre el número de brotes según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.
- **H₁**: Existe diferencia estadística entre el número de brotes según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.

Tabla 22 ANOVA- Número de brotes según el tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	80.889	2	40.444	68.250	3.641	4.256
Dentro de los grupos	5.333	9	0.593			
Total	86.222	11				

Fuente: Elaboración propia

Realizando la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) de un factor con una confiabilidad del 95% y un margen de error al 5% equivalente a 0,05.

Se observó en la tabla 21 que el valor de F es 68.250 al valor crítico de F 4.256 el cual tiene una significancia mayor por lo tanto se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa. Por ende, se rechaza H₀ y se afirma H₁.

4.4.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura) de la exposición de *Schoenoplectus californicus* en humedal de flujo horizontal in vitro.

- Determinación de pH en función del tiempo
 - **H₀**: No existe diferencia estadística entre el pH según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.
 - **H₁**: Existe diferencia estadística entre el pH según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.

Tabla 23 ANOVA- Determinación de pH en función del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Concentración (Filas)	1.961	2	0.981	17.451	3.587E-07	3.093
Tiempo (columnas)	23.831	47	0.507	9.024	1.8302E-19	1.495
Error	5.282	94	0.056			
Total	31.073	143				

Fuente: Elaboración propia

Realizando la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con una confiabilidad del 95% y un margen de error al 5% equivalente a 0,05.

Se observó en la tabla 23 que los valores de F de la concentración es 17.457, el valor del tiempo es 9.024 y los valores críticos de F son concentración es 3.093, el valor del tiempo es 1.495, el cual los valores de F de tabla son mayores a los valores críticos para F, por lo tanto, se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa. Por ende, se rechaza H₀ y se afirma H₁.

- Determinación de CE en función del tiempo
 - **H₀**: No existe diferencia estadística entre la conductividad eléctrica según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.
 - **H₁**: Existe diferencia estadística entre la conductividad eléctrica según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.

Tabla 24 ANOVA- *Determinación de CE en función del tiempo*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Concentración (Filas)	19792.025	2	9896.012	6.432	0.00240916	3.093
Tiempo (Columnas)	7382832.592	47	157081.545	102.099	1.432E-63	1.495
Error	144620.642	94	1538.517			
Total	7547245.258	143				

Fuente: Elaboración propia

Realizando la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con una confiabilidad del 95% y un margen de error al 5% equivalente a 0,05.

Se observó en la tabla 24 que los valores de F de la concentración es 6.432, el valor del tiempo es 102.099 y los valores críticos de F son concentración es 3.093, el valor del tiempo es 1.495, el cual los valores de F de tabla son mayores a los valores críticos para F, por lo tanto, se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa. Por ende, se rechaza H₀ y se afirma H₁.

- Determinación de temperatura en función del tiempo
 - **H₀**: No existe diferencia estadística entre la temperatura según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.
 - **H₁**: Existe diferencia estadística entre la temperatura según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.

Tabla 25 ANOVA- *Determinación de temperatura en función del tiempo*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Concentración (Filas)	0.496	2	0.248	10.569	7.2381E-05	3.093
Tiempo (Columnas)	23.449	47	0.499	21.264	1.1708E-33	1.495
Error	2.206	94	0.023			
Total	26.150	143				

Fuente: Elaboración propia

Realizando la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con una confiabilidad del 95% y un margen de error al 5% equivalente a 0,05.

Se observó en la tabla 25 que los valores de F de la concentración es 10.569, el valor del tiempo es 21.264 y los valores críticos de F son concentración es 3.093, el valor del tiempo es 1.495, el cual los valores de F de tabla son mayores a los valores críticos para F, por lo tanto, se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa. Por ende, se rechaza H_0 y se afirma H_1 .

4.4.3. Determinación de la capacidad de remoción de metales pesados (As y B) por la especie *Schoenoplectus californicus*

- Remoción de arsénico (As)
 - **H₀**: No existe diferencia estadística entre la remoción de As según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.
 - **H₁**: Existe diferencia estadística entre la remoción de As según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.

Tabla 26 ANOVA-Remoción de arsénico (As)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tiempo (Muestra)	0.515	2	0.257	9.322	0.002	3.555
Concentración (Columnas)	0.609	2	0.305	11.026	0.001	3.554
Interacción	0.546	4	0.137	4.945	0.007	2.928
Dentro del grupo	0.497	18	0.028			
Total	2.168	26				

Fuente: Elaboración propia

Realizando la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con una confiabilidad del 95% y un margen de error al 5% equivalente a 0,05.

Se observó en la tabla 26 que los valores de F del tiempo es 9.322, la concentración 11.026, la interacción 4.945 y los valores críticos de F son para el tiempo 3.555, la concentración 3.554, la interacción 2.928, el cual los valores de F de tabla son mayores a los valores críticos para F, por lo tanto, se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa. Por ende, se rechaza H₀ y se afirma H₁.

Remoción de boro (B)

- **H₀**: No existe diferencia estadística entre la remoción de B según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.
- **H₁**: Existe diferencia estadística entre la remoción de B según el tiempo entre las concentraciones alta, media y el control.

Tabla 27 ANOVA- Remoción de B

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tiempo (Muestra)	416.488	2	208.244	141.905	4.457	3.885
Concentración	179.311	1	179.311	122.189	1.201	4.747
Interacción	37.149	2	18.575	12.657	0.001	3.885
Dentro del grupo	17.609	12	1.468			
Total	650.558	17				

Fuente: Elaboración propia

Realizando la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con una confiabilidad del 95% y un margen de error al 5% equivalente a 0,05.

Se observó en la tabla 27 que los valores de F del tiempo es 141.905, la concentración 122.189, la interacción 12.657 y los valores crítico de F son para el tiempo 3.885, la concentración 4.747, la interacción 3.885, el cual los valores de F de tabla son mayores a los valores críticos para F, por lo tanto, se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa. Por ende, se rechaza H_0 y se afirma H_1 .

4.4.4. Determinación de la capacidad fitorremediadora de (As y B) de la especie *Schoenoplectus californicus*.

- Capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para As
 - **H₀**: No existe diferencia estadística entre la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para arsénico en humedal de flujo horizontal in vitro.
 - **H₁**: Existe diferencia estadística entre la capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus* para arsénico en humedal de flujo horizontal in vitro.

Tabla 28 ANOVA- Capacidad fitorremediadora de la *Schoenoplectus californicus* para As

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5843.705	2	2921.853	9.061	0.015	5.143
Dentro de los grupos	1934.825	6	322.471			
Total	7778.530	8				

Fuente: Elaboración propia

Realizando la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) de un factor con una confiabilidad del 95% y un margen de error al 5% equivalente a 0,05.

Se observó en la tabla 28 que el valor de F es 9.061 al valor crítico de F 5.143 el cual tiene una significancia mayor por lo tanto se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa. Por ende, se rechaza H₀ y se afirma H₁.

- Capacidad fitorremediadora de la *Schoenoplectus californicus* para B

- **H₀**: No existe diferencia estadística entre la capacidad fitorremediadora de la *Schoenoplectus californicus* para boro en humedal de flujo horizontal in vitro.
- **H₁**: Existe diferencia estadística entre la capacidad fitorremediadora de la *Schoenoplectus californicus* para boro en humedal de flujo horizontal in vitro.

Tabla 29 ANOVA - Capacidad fitorremediadora de la *Schoenoplectus californicus* para B

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	446858	2	223429	32.187	0.001	5.143
Dentro de los grupos	41650	6	6941.667			
Total	488508	8				

Fuente: Elaboración propia

Realizando la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) de un factor con una confiabilidad del 95% y un margen de error al 5% equivalente a 0,05.

Se observó en la tabla 29 que el valor de F es 32.187 al valor crítico de F 5.143 el cual tiene una significancia mayor por lo tanto se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa. Por ende, se rechaza H₀ y se afirma H₁.

CONCLUSIONES

Los tratamientos se trabajaron en las mismas condiciones durante el tiempo de exposición (dos meses).

PRIMERA: La especie *Schoenoplectus californicus* tiene una capacidad fitorremediadora para As y B; siendo un excelente fitoextractor de B y fitoestabilizador de As, además que tuvo una alta remoción de arsénico de 64% y remoción de boro de 61%, mediante el método de humedales de flujo horizontal in vitro.

SEGUNDA: La especie *Schoenoplectus californicus* presentó una alta tolerancia para As y B. En la sobrevivencia de individuos se obtuvo valores para la concentración media de 98% y para la concentración alta de 93%. La regeneración se obtuvo valores para la concentración media de 23 brotes (85%) y para la concentración alta de 21 brotes (78%).

TERCERA: Los parámetros fisicoquímicos para condiciones de trabajo fueron similares para los tratamientos y el control. El pH presentó un rango de 8 a 9.5; la conductividad de 300 a 800 uS/cm y la temperatura de 26.9°C a 28.5°C.

CUARTA: La capacidad de remoción de la especie *Schoenoplectus californicus* para el As presentó una máxima 64 % (concentración media) y para el Boro 61% (concentración alta).

QUINTA: La capacidad fitorremediadora de la especie *Schoenoplectus californicus*. Para el caso del boro resultó ser un excelente fitoextractor con un factor de bioacumulación de 21 kg/l, factor de bioconcentración de 18 kg/l y un factor de traslocación de 1.15. Para el caso de As resultó ser un buen fitoestabilizador con una capacidad de bioacumulación de 25 kg/l, factor de bioconcentración 77 kg/l, factor de traslocación 0.32.

RECOMENDACIONES

- Para realizar una óptima evaluación de la tolerancia de la totora sería adecuado realizarlo con un determinado contaminante (As y B) para evaluar el efecto que tiene los contaminantes en la sobrevivencia y en la regeneración. De la misma forma para poder medir adecuadamente los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura).
- Se recomienda la implementación y la construcción del tratamiento con *Schoenoplectus californicus* (totora) para la remoción de As y B en humedales de flujo horizontal, debido a que posee una capacidad fitoextractora para B y fitoestabilizadora para el As, se recomienda en especial forma para el departamento de Arequipa, donde se evaluó un nivel alto en As y B por la ANA, el cual supera los ECA'S para categoría 3 (Riego de vegetales y Bebidas de animales), además que este método resulta una herramienta efectiva y económica.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberto Walter, P. (2016). *Presencia de boro en las aguas de riego del valle Calchaquí (Salta, Argentina), variable limitante para la producción agrícola y el desarrollo*. . Salta: Universidad Nacional de Salta .
- Alcoba Gómez, P. (2014). *Transferencia de elementos traza suelo-planta en suelos con influencia salina*. Murcia: Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- Allen, R. G., Pereira, L., & Raes, D. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. Obtenido de FAO Irrigation and drainage: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents>
- ANA. (2015). *Proteccion del agua-vigilancia y control de vertiminetos- PAVER*. Lima.
- ANA. (2018). *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Tambo*. AREQUIPA.
- Andreo Martínez, P. (2014). *Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas*. Murcia.
- Baker, A. (1990). Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. in Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects. Shaw Aj(CRC Press, Boca Raton, FL).
- Bedoya Escobar, B. (2013). *Evaluación de la actividad fitorremediadora del Schoenoplectus Californicus "junco" en agua contaminada con arsénico* . Tacna.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación ,administración,economía, humanidades y ciencias sociales*. Colombia: Pearson- Tercera edición.
- Borja Mateu, R. (2015). Estudio y dimensionado experimental de humedales artificiales para la mejor de la calidad de aguas de cursos fluviales eutrofizados.
- Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M., & Cabrera Capitan, F. (2010). Factores que afectan al proceso de Compostaje. En Q. F. 1Departamento de Ingeniería Química. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), CSIC. Reina Mercedes, 10, 41012 Sevilla.
- Bustos Obregón, E., Carvallo M., Hartley Belmar, R., Sarabia, L., & Ponce, C. (s.f.). *Histopatológico y histométrico Evaluación de boro Efectos de la exposición sobre la espermatogénesis del ratón*. Obtenido de Diario Internacional de Morfología: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-950220070004000390717-9502>.
- Bu-Olayan, A. H. (2009). Traslocation and bioaccumulation of trace metal in desert plants of kuwait governorates. En A. H. Bu-Olayan. Research Journal of Environmental Sciences.
- CERPER. (2018). *Informe de ensayo laboratorio certificaciones del Perú para determinación de metales en tallo - raíz*. Arequipa.
- Chaudri , A., Allain, C., Barbosa, J., Nicholson, F., Chambers, B., & McGrath, S. (2000). A study of the impacts of Zn and Cu on two rhizobial species in soils of a long term field experiment. . En *Plant Soil* (págs. 167-169).

- Comercial andina industrial S.A.C. (2014). *Ficha tecnica Root-Hor*. Lima.
- Delgadillo, O., Camacho, A., F. Pérez , L., & Andrade , M. (2010). *Depuracion de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba - Bolivia.
- Diaz, M. A. (2016). *ESTUDIO DE NIVELES DE BORO Y ARSENICO EN EL SUELO AGRICOLA EN EL DISTRITO DE COCACHACRA. VALLE DE TAMBO. AREQUIPA*.
- DIGESA. (2010). *GESTA AGUA*. Obtenido de Parámetros organolépticos: http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf
- DIGESA. (s.f.). *GESTA AGUA*. Obtenido de Parámetros organolépticos: http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf
- Dominguez, D. T. (2015). El boro.
- EcuRed. (2018). *EcuRed*. Obtenido de Aguas Superficiales: Agua superficial. Es la proveniente de las precipitaciones, que no se infiltra ni regresa a la atmósfera por evaporación o la que proviene de manantiales o nacimientos que se originan de las aguas subterráneas
- Edwar B. Barbier, M. a. (1997). *valorizacion economica de los humedales*. Reino UNIDO.
- Escobar, B. M. (2013). Evaluacionde de la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* junco en aguas contaminada con arsenico. Tacna, Perú.
- Escuelapedia . (2018). Obtenido de Elemento Boro: <http://www.escuelapedia.com/elemento-boro/>
- Franco Hernández, M., Vásquez Murrieta, M., Patiño Siciliano, A., & Dendooven , L. (2010). Heavy metals concentration in plants growing on mine tailings in Central Mexico. En *Biores* (págs. 3864–3869). Mexico.
- Gajardo Devia, C. A., & Vidal Gonzáles, L. T. (2009). *Evaluación del riesgo toxicológico por arsénico mediante el uso de orina como biomarcador*. Santiago- Chile.
- Galetovic, F. C. (2003). Arsenico en el agua de bebida; un problema de salud pública. *Revista brasileira de Ciencias Farmaceuticas* , 365-375.
- Garay Aparicio, I. B. (2017). *Eficacia de las macrofitas jacinto y lenteja de agua para disminuir la concentración del boro, en las aguas minerotermales de la laguna milagrosa chilca*. Lima.
- García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). *Depuracion con Humedales Construidos - Guía practica de diseño, construccion y explotacion de sistemas de humedales de flujo subsuperficiales*. Cataluya.
- Garcia, G. (2002). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente* . Enfermeria Comunitaria.
- Gardea Torresdey, J., Peralta Videa, J., & Parsons , J. (2005). Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X–ray absorption spectroscopy.

- González M., S. (1997). *Tipos de plantas según su comportamiento al incremento de concentración en el suelo de elementos traza*.
- Gutierrez Tito, E. (10 de Diciembre de 2014). *Premio de Investigacion Ambiental-Categoría Senior*. Obtenido de Lima COP 20/CMP 10: <http://cop20.minam.gob.pe/ck/captura-de-carbono-a-traves-de-totorales-del-lago-titicaca/>
- Hargreaves, G., & Samani, Z. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. En *Applied Eng. in Agric* (págs. 96-99).
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación - Quinta edición*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Hortus. (2018). *Ficha técnica -Manvert NPK*. Lima.
- Idainature. (5 de Agosto de 2015). *Agriculturers red de especialistas en agricultura*. Obtenido de La fitorremediacion: plantas para tratar la contaminacion ambiental: <http://agriculturers.com/la-fitorremediacion-plantas-para-tratar-la-contaminacion-ambiental/>
- Instituto científico Michael Owen Dillon (IMOD). (2018). *Constancia de determinacion de muestras N° 019-2018*. Arequipa.
- IPCS. (2011). *Ficha Internacional de Seguridad Química -As*. Obtenido de International Programme on Chemical Safety: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0013.pdf>.
- IPCS. (2011). *Fichas Intenacionales de Seguridad Química del B*. Obtenido de International Program on Chemical Safety: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/501a600/nspn0567.pdf>.
- Javier Pérez, E. (Julio de 2012). *ResearchGate*. Obtenido de Aplicación de compuestos organicos en la recuperación de suelos contaminados con metales pesdos: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Tecnicas-de-fitorremediacion-izquierda-Fitoextraccion-de-metales-del-suelo_fig1_253285938
- Juleissi Jacqueline Diaz Vasquez, M. E. (2018). *Parametros cineticos de fitobiorreactores para la depuracion de aguas residuales domesticas con Schoneoplectus californicus*. Cajamarca, Perú.
- Julian Perez Porto, A. G. (2010). *Definicion de agua* .
- LAS. (2018). *Informe de ensayo laboratorio analitico del sur para determinación de metales en agua*. Arequipa.
- Lenntech. (2018). *Leentech*. Obtenido de Boro- B: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/b.htm>
- Lenntech. (2018). *Lenntech*. Obtenido de Arsénico: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm>

- Lenntech. (2018). *Lenntech*. Obtenido de Metales pesados: <https://www.lenntech.es/metales-pesados.htm>
- López Corrales, E. I. (2014). *Alternativa de disposicion para la fitorremediacion de suelos contaminados por actividades mineras*. Antioquia.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Olivera, S. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações*. Sau Paulo: Potafos, Piracicaba.
- Marrero, L. (2018). La tierra y sus recursos.
- MINAM. (2017). *Estandares nacionales de calidad ambiental para agua y disposiciones complementarias - DS. N°004-2017-MINAM*. Lima.
- MINSA. (2010). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano - DS N° 031-2010-SA*. Lima.
- Monni, S., Hansen, E., & Magel, E. (2001). Ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to heavy metal pollution. En *Environ. Pollut.* (págs. 121–129).
- Montenegro Contreras, E. (2008). *Estudio de aguas subterranas en zonas 10 y 14 de la ciudad de guatemala*. Guatemala.
- Núñez López, R., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & J. Olgún, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*, 62-89.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición*. Ginebra.
- OMS. (15 de Febrero de 2018). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de Arsenico: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- PELT-ADESU. (2001). *Programa de capacitacion sobre el manejo de la totora*. Perú-Bolivia. *Perú Ecologico*. (Octubre de 2007). Obtenido de Perú Ecologico: http://www.peruecologico.com.pe/flo_totora_2.htm
- Petrusevski, B., Sharma, S., Schippers, J. C., & Shordt, K. (2007). *Arsenic in Drinking Water*. Netherlands: International Water and Sanitation Centre (IRC).
- Polprasert. (1996). *Organic waste recycling, technology and management*. Ontario- Canadá: 2a edición, Wiley.
- RAMSAR. (1996). The Ramsar Convention on Wetlands.
- Ravenscroft, P. (2007). *Predicting the global extent of arsenic pollution of groundwater and its potential impact on human health*. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF).
- Ravenscroft, P., Brammer, H., & Richards, K. (2009). *Arsenic Pollution: A Global Synthesis*. . United Kingdom: John Wiley and Sons. Inc. West Sussex.
- Reginald Quansah, F. A.-A. (27 de January de 2015). *Association of Arsenic with Adverse Pregnancy Outcomes/Infant Mortality: A Systematic Review and Meta- Analysis*. Obtenido de <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1307894>

- Saha, K. (2003). Diagnosis of arsenicosis. En *Science and Health, Part A: Toxic/ Hazardous Substances and Environmental Engineering* (págs. 255-72). Journal of Environmental.
- Sainz , M. (21 de 04 de 2009). *El mundo es salud*. Obtenido de ¿Por qué es tóxico el boro?: <https://www.elmundo.es/elmundosalud/2009/04/21/medicina/1240310173.html>
- Sam Cherian, M. O. (2005). *Transgenic plants in phytoremediation: recent advances and new possibilities*. Lisboa.
- Sánchez Monedero, M., Roig, A., Paredes , C., & Bernal , M. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. . En *Biores* (págs. 301-308).
- Sánchez San Roman, J. F. (2010). *Calculo de la evapotranspiracion potencial mediante la formula de Hargreaves*. Obtenido de Hidrologia.usal.es: http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf.
- SlideShare. (14 de Febrero de 2012). *SlideShare*. Obtenido de Tratamientos de aguas residuales fitorremediación: <https://es.slideshare.net/NELSHON/tratamiento-de-aguas-residuales-fitorremediacion>
- Smedley P.L., K. D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*. En K. D. Smedley P.L., *Applied Geochemistry* (págs. 517-568).
- Smith, E., Christophersen, M., Pope, S., & Andrew, S. (2010). Arsenic uptake and toxicity in plants: integrating mycorrhizal influences. En *Plant Soil* (págs. 1–21).
- Steven, R. (22 de Marzo de 2005). *Introduccion to Phytoremediacion U.S. Environmental Protection Agency*. Obtenido de <http://www.epa.gov/nrmrl/rpcd/rcb/introphy.htm> ?
- Tecniamsa. (2010). *Tecnologias ambientales de colombia E.S.P.* Obtenido de http://servicios.corferias.com/stand_virtual/exhibicion.cfm?stand=15625&lang=es&ano=1&evento=1
- Trelles Bautista , J. A. (2013). *Biosorcion de arsénico en medios acuoso empleando biomasa vegetales inertes*. Lima.
- Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. (2013). Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. *Kuxulkab, revista de divulgacion-División académica de ciencias biológicas*, 4-5.
- USEPA. (22 de January de 2001). *United States, Environmetal Protection Agency* . Obtenido de National Primary Drinking Water Regulations, Arsenic and Clarifications to compliance and New Source Monitoring.
- WHO. (2001). *World Health Organization*. Obtenido de IPCS International Programme on Chemical Safety Environmental Health Criteria 224: Arsenic and arsenic compounds: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc224.htm>
- Williams, M., Muntaz, M., M., F., F., S., & K., J. (2010). *Toxicological profile for Boron*. U.S.A.: Departamentof Healthand Human Services.

ANEXOS

ANEXO N° 1: Diagrama lineal de remoción para As y B

- **Diagrama lineal de remoción de As en factor de tiempo y factor dosis**

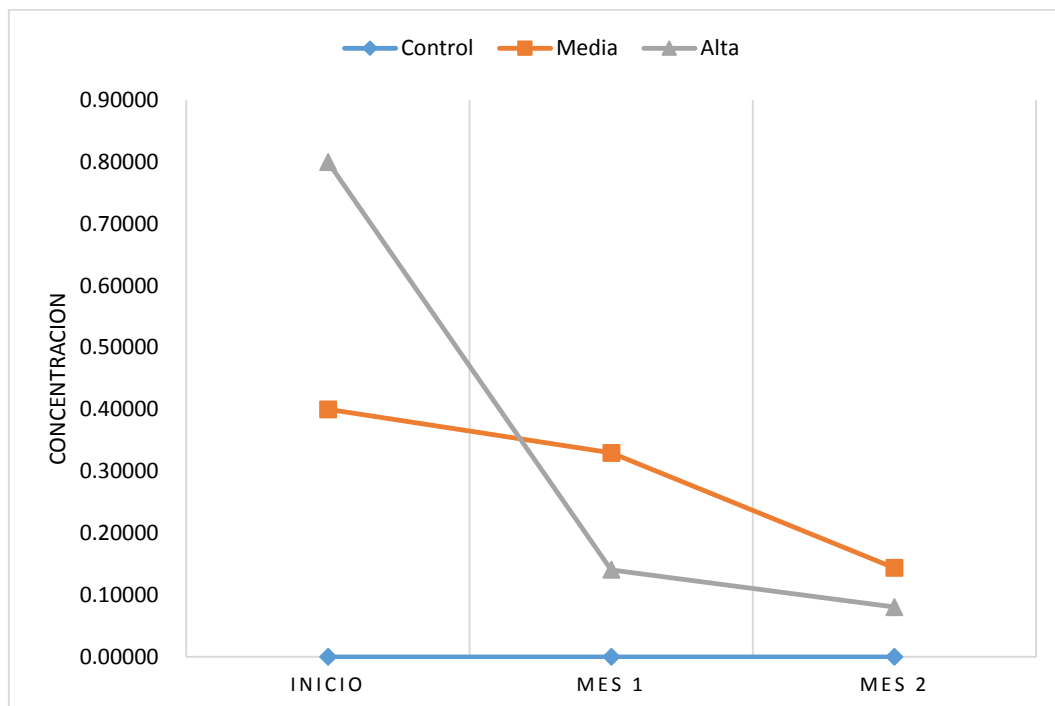


Figura 31 Remoción de As en función del factor tiempo

Fuente: Elaboración propia

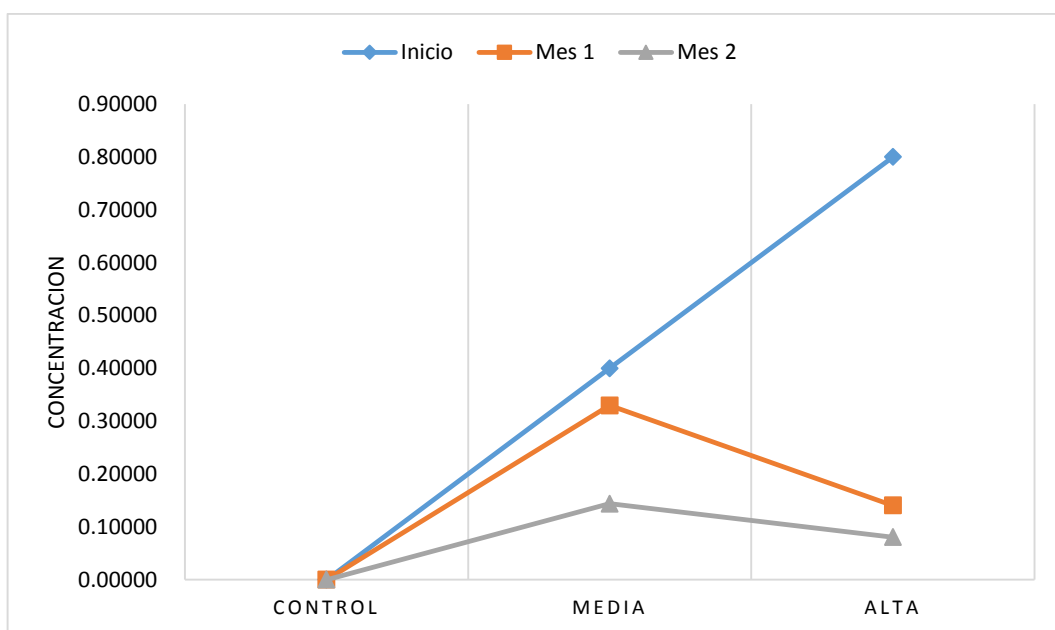


Figura 32 Remoción de As en función del factor dosis

Fuente: Elaboración propia

- **Diagrama lineal de remoción de B en factor de tiempo y factor dosis**

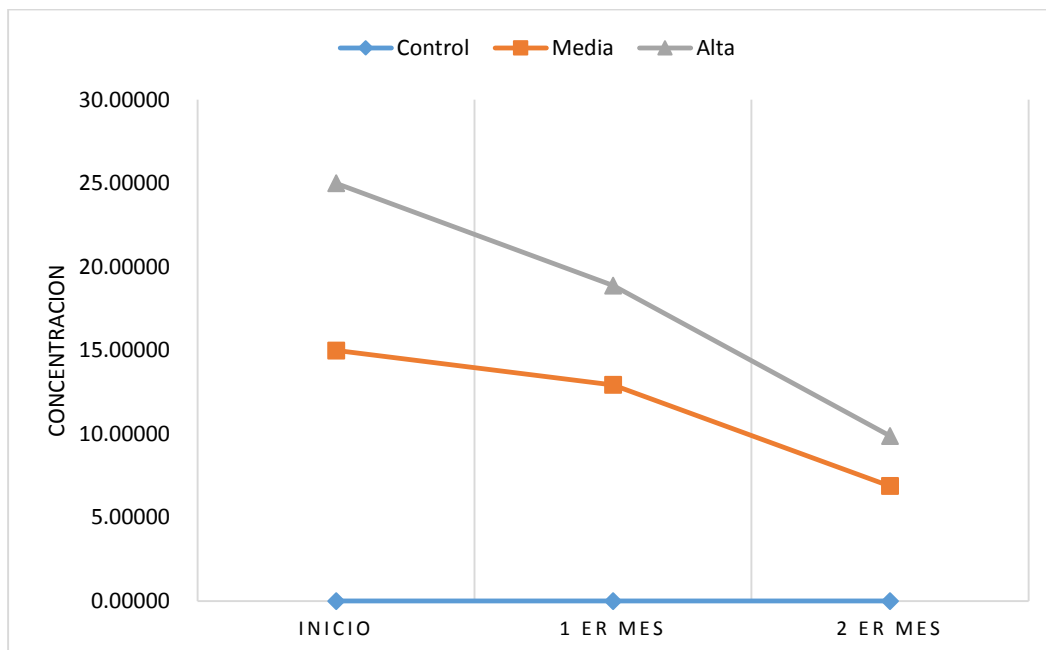


Figura 33 Remoción de B en función del factor tiempo

Fuente: Elaboración propia

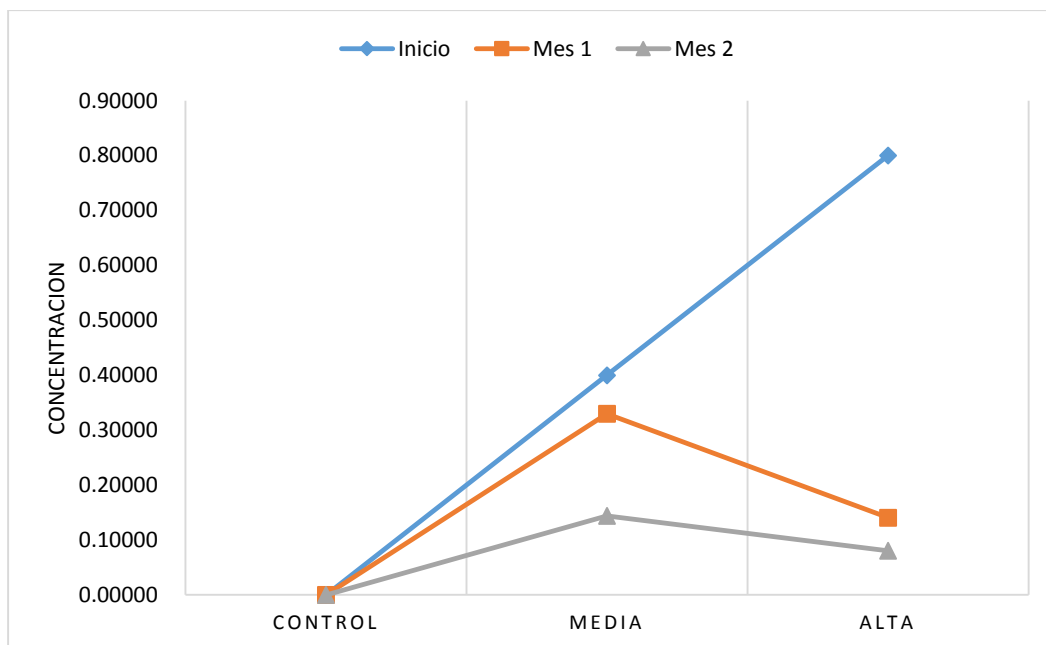


Figura 34 Remoción de B en función del factor dosis

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°2: Cálculo de Evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985) se utilizó para medir la evapotranspiración potencial, utilizando la siguiente ecuación:

$$ET_0 = 0.0023 (t_{med} + 17.78) R_0 (t_{max} - t_{min})^{0.5} \dots \text{(Ecuación 4)}$$

La siguiente simbología viene representada por:

- ET_0 = evapotranspiración potencia diaria, mm/día
- t_{med} = temperatura media diaria, C°
- R_0 = Radiación solar extraterrestre, en mm/día (Tabla 30)
- t_{max} = Temperatura diaria máxima
- t_{min} = Temperatura mínima

• Evapotranspiración mensual para octubre

Para el cálculo de la evapotranspiración mensual para el mes de octubre se tuvieron los datos diarios de las temperaturas, para la R_0 (ver Tabla 30, 18° latitud Sur) donde se tuvo:

- t_{med} : 27.5 C°
- R_0 : 15.8
- t_{max} : 28.5 C°
- t_{min} : 26.9 C°.

Remplazando en la Ecuación 4 se tuvo:

$$ET_0 = 0.0023 (t_{med} + 17.78) R_0 (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

$$ET_0 = 0.0023 (27.5 + 17.78) 15.8 (28.5 - 26.9)^{0.5}$$

$$ET_0 = 2.081 \text{ mm/día} = 63.297 \text{ mm /mes}$$

- **Evapotranspiración mensual para noviembre**

Para el cálculo de la evapotranspiración mensual para el mes de noviembre se tuvieron los datos diarios de las temperaturas, donde se tuvo:

- $t_{med} : 27.9C^{\circ}$
- $R_0 : 15.8$
- $t_{max} : 28.3 C^{\circ}$
- $t_{min} : 27 C^{\circ}$.

Remplazando en la Ecuación 4 se tuvo:

$$ET_0 = 0.0023 (t_{med} + 17.78) R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

$$ET_0 = 0.0023 (27.9 + 17.78) 15.8 * (28.3 - 27)^{0.5}$$

$$ET_0 = 1.893 \text{ mm/día} = 57.579 \text{ mm/mes}$$

- **Cálculo de evapotranspiración durante el periodo de la investigación (2 meses)**

Para el cálculo de la evapotranspiración total para los meses de octubre y noviembre se calculó mediante la siguiente formula:

$$ET_0 = ET_{inicial} + ET_{final}$$

$$ET_0 = 63.297 + 57.579$$

$$ET_0 = 120.876 \text{ mm}$$

Tabla 30 Radiación solar extraterrestre en mm/día

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	46.1	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Fuente: (Allen, Pereira, & Raes, 1998)

ANEXO N° 3: Normas ambientales para agua

- Estándares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 3: Riego de vegetales bebida de animales del D.S. N° 004-2017-MINAM

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 ₅)	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
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Figura 35 Estándar de calidad ambiental , categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Fuente: (MINAM, 2017)

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
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Diéldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

Figura 36 Estándar de calidad ambiental, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Fuente: (MINAM, 2017)

- Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. 031-2010- SA.

- Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	$\mu\text{mho/cm}$	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg L^{-1}	1 000
8. Cloruros	$\text{mg Cl}^{-} \text{ L}^{-1}$	250
9. Sulfatos	$\text{mg SO}_4^{-} \text{ L}^{-1}$	250
10. Dureza total	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	500
11. Amoníaco	mg N L^{-1}	1,5
12. Hierro	mg Fe L^{-1}	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L^{-1}	0,4
14. Aluminio	mg Al L^{-1}	0,2
15. Cobre	mg Cu L^{-1}	2,0
16. Zinc	mg Zn L^{-1}	3,0
17. Sodio	mg Na L^{-1}	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Figura 37 Reglamento de calidad de agua para consumo humano – parámetros organolépticos

Fuente: (MINSA, 2010)

- Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L^{-1}	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L^{-1}	0,010
3. Bario	mg Ba L^{-1}	0,700
4. Boro	mg B L^{-1}	1,500
5. Cadmio	mg Cd L^{-1}	0,003
6. Cianuro	$\text{mg CN}^{-} \text{ L}^{-1}$	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L^{-1}	5
8. Clorito	mg L^{-1}	0,7
9. Clorato	mg L^{-1}	0,7
10. Cromo total	mg Cr L^{-1}	0,050
11. Flúor	mg F L^{-1}	1,000
12. Mercurio	mg Hg L^{-1}	0,001
13. Níquel	mg Ni L^{-1}	0,020
14. Nitratos	$\text{mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$	50,00
15. Nitritos	$\text{mg NO}_2 \text{ L}^{-1}$	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L^{-1}	0,010
17. Selenio	mg Se L^{-1}	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L^{-1}	0,07
19. Uranio	mg U L^{-1}	0,015

Figura 38 Reglamento de calidad de agua para consumo humano – parámetros químicos inorgánicos

Fuente: (MINSA, 2010)

ANEXO N° 4: Medición de As, B y parámetros fisicoquímicos

Tabla 31 Cantidad de remoción de As y B en el agua

Parámetros	Tratamientos			ECA (Categoría III)	
	Tiempo	Media	Alta	Riego de vegetales	Bebida de animales
As	Inicio	0.4 mg/l	0.8 mg/l	0.1 mg /l	0.2 mg/l
	Primer mes	0.3 mg/l	0.5 mg/l		
	Segundo mes	0.1 mg/l	0.3 mg/l		
B	Inicio	15 mg/l	25 mg/l	1 mg/l	5 mg/l
	Primer mes	12.9 mg/l	18.9 mg/l		
	Segundo mes	6.9 mg/l	9.9 mg/l		

Fuente: Elaboración propia, (MINAM, 2017)

- Medición del pH en los meses de octubre, noviembre y diciembre

Tabla 32 Medición del pH en el mes de octubre

Tratamientos		Tiempo																						
		Octubre																						
Concentración	Repeticiones	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	29	30	31
Alta	R1	8.4	9.2	9.5	9.7	9.7	9	8.1	7.8	7.8	7.7	8	7.9	8	8	8	7.7	7.7	8	8	8	7.5	8	8
	R2	8.4	9	9.4	9.8	10.2	9.5	9.4	8.7	8.9	8.7	8.5	8.5	8.3	8	8.2	8.4	8.5	8.2	8.1	8.4	8.2	8.5	8.5
	R3	8.9	9.2	9.5	9.7	9.5	9.7	8.5	8.1	7.7	7.5	7.5	7.5	7.5	7.6	7.7	7.7	7.8	8.7	8.5	8.1	8.1	8.4	8.4
	Promedio	8.6	9.1	9.5	9.7	9.8	9.4	8.7	8.2	8.1	8.0	8.0	8.0	8.0	7.8	7.9	8.0	7.9	8.0	8.3	8.2	8.2	7.9	8.3
Media	R1	8.4	8.4	9.3	9.2	9.3	9.1	9.1	8.2	7.9	7.8	7.7	7.7	7.5	7.5	7.6	8	7.5	8.4	8.2	8	7.9	8.2	8.2
	R2	8.7	8.7	9.9	9.3	9.9	9	9	8.5	8.1	8	8	8	8.1	8	8.1	8	8	8.2	7.9	7.5	7.8	7.7	7.7
	R3	7.7	7.7	9.5	9.4	9.5	9.3	9.3	8.7	8.3	8	8	8	8	8	8.2	8	8	8.6	8.4	8.1	8.1	8	8
	Promedio	8.3	8.3	9.6	9.3	9.6	9.1	9.1	8.5	8.1	7.9	7.9	7.9	7.9	7.8	8.0	8.0	7.8	8.4	8.2	7.9	7.9	8.0	8.0
Control	R1	7.7	7.7	7.7	9.8	10	8.5	9	8.8	8	8.1	8	8	8	8	8	8	8.1	8.3	7.9	7.6	7.7	7.6	7.6
	Promedio	7.7	7.7	7.7	9.8	10	8.5	9	8.8	8	8.1	8	8	8	8	8	8	8.1	8.3	7.9	7.6	7.7	7.6	7.6

Tabla 33 Medición de pH en los meses de noviembre, diciembre

Tratamientos		Tiempo																								
		Noviembre																							Diciembre	
Concentración	Repeticiones	1	2	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	3	4	5
Alta	R1	8	8.1	8	8	8	8.2	8.2	8.3	8.3	8	7.9	7.8	7.8	7.8	7.6	7.6	7.6	7.6	7.8	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3
	R2	8.3	8.1	8.1	7.9	7.9	8.1	8.3	8.2	8.2	8.1	8.1	8	8	8	8	8	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2
	R3	8.4	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3	8.5	8.5	8.4	8.4	8.5	8.5	8.5	8.7	8.7	8.7	8.5	8.5	8.2	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3
	Promedio	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.0	8.1	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3
Media	R1	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.5	7.9	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
	R2	7.9	8	8	8	8.1	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
	R3	8	8	8	8	8	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2
	Promedio	8.0	8.0	8.0	8.0	8.1	8.1	8.2	8.1	8.1	8.1	8.0	8.0	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.8	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
Control	R1	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	8	8.1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
	Promedio	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	8	8.1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1

- Medición de la conductividad en los meses de octubre, noviembre y diciembre

Tabla 34 Medición de la conductividad en el mes de octubre

Tratamiento		Tiempo																						
		Octubre																						
Concentraciones	Repeticiones	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	29	30	31
Alta	R1	264	260	252	249	262	259	254	253	252	307	228	248	248	248	250	250	248	248	299	299	305	305	315
	R2	288	288	286	284	295	293	291	290	289	335	272	276	276	276	280	280	276	276	318	318	315	315	311
	R3	266	266	264	263	281	284	285	285	287	351	254	279	279	279	281	281	279	279	308	308	301	301	301
	Promedio	273	271	267	265	279	279	277	276	276	331	251	268	268	268	270	270	268	268	308	308	307	307	309
Media	R1	270	268	265	250	264	254	254	254	245	245	245	239	239	248	250	256	255	255	261	270	270	270	290
	R2	290	289	282	274	284	291	298	310	315	319	252	269	269	269	270	270	269	269	282	290	300	305	339
	R3	304	305	304	306	323	331	331	330	350	375	280	300	300	300	300	300	300	300	305	307	310	311	331
	Promedio	288	287	284	277	290	292	294	298	303	313	259	269	269	272	273	275	275	275	283	289	293	295	320
Control	R1	303	303	305	308	317	317	318	318	318	372	272	292	292	295	295	292	292	292	305	315	315	345	345
	Promedio	303	303	305	308	317	317	318	318	318	372	272	292	292	295	295	292	292	292	305	315	315	345	345

Tabla 35 Medición de la conductividad en los meses de noviembre, diciembre

Tratamientos		Tiempo																								
		Noviembre																						Diciembre		
Concentraciones	Repeticiones	1	2	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	3	4	5
Alta	R1	363	405	424	430	480	495	580	645	695	714	730	791	820	850	885	905	895	875	856	845	845	845	848	848	852
	R2	352	375	395	421	450	460	515	620	675	715	752	781	805	820	858	873	861	868	860	860	845	835	820	815	815
	R3	339	350	381	412	425	450	490	600	682	696	710	761	795	805	815	821	830	850	875	854	854	854	854	854	850
	Promedio	351	377	400	421	452	468	528	622	684	708	731	778	807	825	853	866	862	864	864	853	848	845	841	839	839
Media	R1	310	310	345	460	470	485	510	590	654	710	725	759	801	830	830	830	850	850	850	845	853	848	840	840	840
	R2	350	380	405	420	450	480	505	580	620	715	750	765	810	820	830	830	835	830	858	845	834	825	820	815	815
	R3	352	360	360	360	415	430	450	550	605	745	740	752	760	760	810	845	858	858	860	851	851	854	854	854	854
	Promedio	337	350	370	413	445	465	488	573	626	723	738	759	790	803	823	835	848	846	856	847	846	842	838	836	836
Control	R1	352	380	410	420	435	440	440	515	562	586	612	615	650	670	692	714	720	735	750	775	791	810	815	833	833
	Promedio	352	380	410	420	435	440	440	515	562	586	612	615	650	670	692	714	720	735	750	775	791	810	815	833	833

- Medición del tiempo en los meses de octubre, noviembre y diciembre

Tabla 36 Medición del tiempo en el mes de octubre

Tratamientos		Tiempo																						
		Octubre																						
Concentraciones	Repeticiones	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	29	30	31
Alta	R1	27.1	27.1	27.1	27.8	28.2	28.2	28.2	28.4	28.4	28.5	27.9	27.5	27.5	27.1	27.1	27.1	26.9	26.9	27.4	27.4	27.4	27.4	28
	R2	27.1	27.1	27.1	27.8	28	28.2	28.2	28.4	28.4	28.5	27.9	27.5	27.5	27.1	27.1	27.1	26.9	26.9	27.4	27.4	27.4	27.4	28
	R3	27.1	27.1	27.1	27.8	28	28	28.2	28.4	28.4	28.5	27.9	27.5	27.5	27.1	27.1	27.1	26.9	26.9	27.4	27.4	27.4	27.4	28
	Promedio	27.1	27.1	27.1	27.8	28	28	28.2	28.4	28.4	28.5	27.9	27.5	27.5	27.1	27.1	27.1	26.9	26.9	27.4	27.4	27.4	27.4	28
Media	R1	27.1	27.1	27.1	27.8	28	28	28.2	28.2	28.2	28.2	27.9	27.5	27.1	27.1	27.1	27.1	26.9	26.9	26.9	27.2	27.2	27.2	27.6
	R2	27.1	27.1	27.1	27.8	28	28	28.2	28.2	28.2	28.2	27.9	27.5	27.1	27.1	27.1	27.1	26.9	26.9	26.9	27.2	27.2	27.2	27.6
	R3	27.1	27.1	27.1	27.8	28	28	28.2	28.2	28.2	28.2	27.9	27.5	27.1	27.1	27.1	27.1	26.9	26.9	26.9	27.2	27.2	27.2	27.6
	Promedio	27.1	27.1	27.1	27.8	28	28	28.2	28.2	28.2	28.2	27.9	27.5	27.1	27.1	27.1	27.1	26.9	26.9	26.9	27.2	27.2	27.2	27.6
Control	R1	27.1	27.1	27.1	27.5	27.9	27.9	28.1	28.1	28	28	28	27.8	27.8	27.3	27.3	27.3	26.9	26.9	26.9	27.4	27.4	27.4	27.4
	Promedio	27.1	27.1	27.1	27.5	27.9	27.9	28.1	28.1	28	28	28	27.8	27.8	27.3	27.3	27.3	26.9	26.9	26.9	27.4	27.4	27.4	27.4

Tabla 37 Medición del tiempo en los meses de noviembre, diciembre

Tratamientos		Tiempo																								
		Noviembre																							Diciembre	
Concentraciones	Repeticiones	1	2	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	3	4	5
Alta	R1	28	28	28	28.3	28.3	28.3	28.1	28.1	28.1	28.1	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.5	27.5	27.1	27.1
	R2	28	28	28	28.3	28.3	28.3	28.1	28.1	28.1	28.1	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.5	27.5	27.1	27.1
	R3	28	28	28	28.3	28.3	28.3	28.1	28.1	28.1	28.1	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.5	27.5	27.1	27.1
	Promedio	28	28	28	28.3	28.3	28.3	28.1	28.1	28.1	28.1	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.5	27.5	27.1	27.1
Media	R1	27.6	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	27.9	27.9	27.9	27.9	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.5	27.5	27.5	27.5
	R2	27.6	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	27.9	27.9	27.9	27.9	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.5	27.5	27.5	27.5
	R3	27.6	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	27.9	27.9	27.9	27.9	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.5	27.5	27.5	27.5
	Promedio	27.6	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	27.9	27.9	27.9	27.9	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.5	27.5	27.5	27.5
Control	R1	27.4	27.9	27.9	27.9	27.9	28	28	28	28	28.1	28.1	28.1	28.1	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.5	27.5	27.5	27.5	27	27
	Promedio	27.4	27.9	27.9	27.9	27.9	28	28	28	28	28.1	28.1	28.1	28.1	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.5	27.5	27.5	27.5	27	27

ANEXO N° 5: Registros fotográficos

Figura 39 Recolección de la especie *Schoenoplectus californicus*
Fuente: Elaboración propia



Figura 40 Selección de la especie *Schoenoplectus californicus*
Fuente: Elaboración propia



Figura 41 Grava de 1.5 cm de diámetro
Fuente: Elaboración propia



Figura 42 Grava para la adaptación de *Schoenoplectus californicus*
Fuente: Elaboración propia



Figura 43 Enraizante Root Hor
Fuente: Elaboración propia



Figura 44 Adaptación de *Schoenoplectus californicus*
Fuente: Elaboración propia



Figura 45 Adaptación de *Schoenoplectus californicus*
Fuente: Elaboración propia



Figura 46 Peso de grava para el diseño de Humedal de flujo horizontal in vitro
Fuente: Elaboración propia



Figura 47 Peso de concentraciones de As y B
Fuente: Elaboración propia

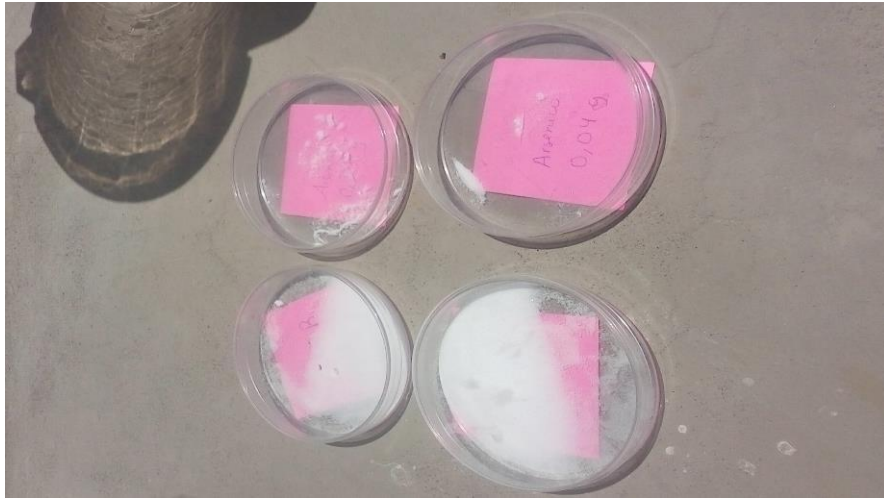


Figura 48 Concentraciones alta y media de As y B
Fuente: Elaboración propia



Figura 49 Preparación de la solución madre
Fuente: Elaboración propia



Figura 50 Medición de pH
Fuente: Elaboración propia



Figura 51 Medición del crecimiento de la planta
Fuente: Elaboración propia



Figura 52 Observación de brotes *Schoenoplectus californicus*
Fuente: Elaboración propia



Figura 53 Observación del agua con el tratamiento de As y B
Fuente: Elaboración propia



Figura 54 Diseño de humedal de flujo horizontal in-vitro
Fuente: Elaboración propia



Figura 55 Diseño de humedal de flujo horizontal in- vitro
Fuente: Elaboración propia



Figura 56 Medición de pH con Multiparametro (modelo PC TERST 35, marca WATERPROOF)
Fuente: Elaboración propia



Figura 57 Florescencia de *Schoenoplectus californicus*
Fuente: Elaboración propia



Figura 58 Materiales para la primera toma de muestra del
tratamiento de As y B en el agua
Fuente: Elaboración propia



Figura 59 Recolección de muestra para laboratorio del tratamiento
de As, B en el agua
Fuente: Elaboración propia



Figura 60 Recolección de muestra para laboratorio del tratamiento de As, B en el agua
Fuente: Elaboración propia



Figura 61 Toma de muestras en agua del primer tratamiento de As, B
Fuente: Elaboración propia

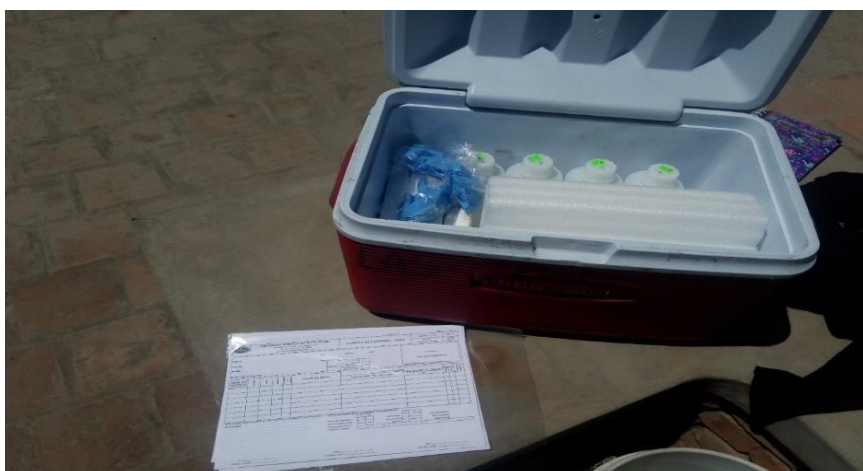


Figura 62 Materiales para la segunda toma de muestras en agua del tratamiento de As y B
Fuente: Elaboración propia



Figura 63 Recolección de la segunda toma de muestras del tratamiento de As y B en el agua
Fuente: Elaboración propia



Figura 64 Toma de muestras del segundo tratamiento de As y B en el agua
Fuente: Elaboración propia



Figura 65 Observación del enraizamiento de *Schoenoplectus californicus*
Fuente: Elaboración propia



Figura 66 Recolección de toma de muestras - Tallo- Raíz
Fuente: Elaboración propia



Figura 67 Recolección de toma de muestra - Tallo-Raíz
Fuente: Elaboración propia



Figura 68 Toma de muestra (Tallo) del tratamiento de As y B
Fuente: Elaboración propia



Figura 69 Toma de muestra (Raíz) del tratamiento de As y B
Fuente: Elaboración propia




Figura 70 Toma de muestras de tallo – raíz del tratamiento de As y B
Fuente: Elaboración propia



Figura 71 Toma de muestras tallo-raíz del tratamiento de As y B
Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 6: Análisis de laboratorio



INSTITUTO CIENTÍFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)
 Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos
 Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGSPFFS



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

**CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE MUESTRAS
N° 019-2018**

El Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD).

HACE CONSTAR:

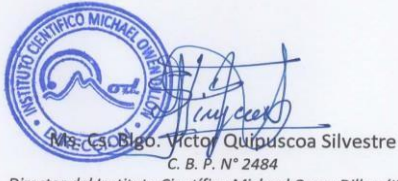
Que, la muestra botánica presentada por el Sta. Estefany Miranda Chambi, para la ejecución de la tesis: **"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA TOTORA PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y BORO MEDIANTE HUMEDALES SUPERFICIALES IN VITRO"**, recolectada en el distrito de llave con coordenadas UTM Sur 8235732.95 y Este 428015.06, fue determinada taxonómicamente en las Instalaciones del Herbario del Instituto Científico Michael Owen Dillon, "Herbario Sur Peruano" (HSP), y corresponden a:

Clase: Equitopsida
SubClase: Magnoliidae
Orden: Poales
Familia: Cyperaceae
Género: *Schoenoplectus*
Especie: *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják

La clasificación se ha realizado según la propuesta por el grupo Angiosperm Phylogeny Group en "An update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the orders and families of flowering plants: APG IV" (2016).

Se expide la presente, a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.


Arequipa, 27 de diciembre del 2018.



MA. C. S. O. Bgo. Víctor Quipuscoa Silvestre
 C. B. P. N° 2484
 Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD)
 Herbario Sur Peruano (HSP)
 vquipuscoas@hotmail.com
 vquipuscoa@imod.org.pe

Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú
 Correo: imod.per@gmail.com

Figura 72 Constancia de determinación de Muestra N°0.19-2018
 Fuente: (Instituto científico Michael Owen Dillon (IMOD), 2018)

 ANA Autoridad Nacional del Agua	SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA (Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM)		N° DE REGISTRO
	FORMULARIO		

I. FUNCIONARIO RESPONSABLE DE ENTREGAR LA INFORMACIÓN:

II. DATOS DEL SOLICITANTE:

APELLIDOS Y NOMBRES / RAZÓN SOCIAL <i>Miranda Chambi, Estefany</i>		DOCUMENTO DE IDENTIDAD D.N.I./L.M./C.E./OTRO <i>74773576</i>	
DOMICILIO			
AV/CALLE/JR/PSJ. <i>calle 28 de Julio</i>	N° DPTO./INT. <i>107</i>	DISTRITO <i>Cayma</i>	URBANIZACIÓN
PROVINCIA <i>Arequipa</i>	DEPARTAMENTO <i>Arequipa</i>	CORREO ELECTRÓNICO <i>estefyramiranda.chambi@gmail.com</i>	TELÉFONO <i>960703765</i>

III. INFORMACIÓN SOLICITADA:

I. Monitoreo Participativo de la cantidad de Agua superficial en la cuenca tambo
 II. Monitoreo Participativo de la calidad de Agua superficial en la cuenca tambo
 III. Monitoreo Participativo de la calidad de A.S en la cuenca tambo
 IV. Monitoreo Participativo de la calidad de A.S en la cuenca tambo
 V. Monitoreo Participativo de la calidad de A.S en la C.T. VI. Monitoreo participativo de la calidad de A.S en la C.T.
 VII. Monitoreo Participativo de la calidad de A.S en la C.T. VIII. Monitoreo participativo de la calidad de A.S en la C.T.

IV. DEPENDENCIA DE LA CUAL SE REQUIERE LA INFORMACIÓN:


Realización de tesis

V. FORMA DE ENTREGA DE LA INFORMACIÓN (marcar con una "X")

COPIA SIMPLE	DISQUETE	CD	<input checked="" type="checkbox"/> CORREO ELECTRÓNICO	OTRO
--------------	----------	----	--	------

VI. AUTORIZACIÓN PARA RECIBIR RESPUESTA DE LA SOLICITUD POR CORREO ELECTRÓNICO:

AUTORIZO () NO AUTORIZO ()

APELLIDOS Y NOMBRES	FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN
FIRMA	

OBSERVACIONES:

NOTA: PRESENTAR EN MESA DE PARTES, EN ORIGINAL Y COPIA

Figura 73 Solicitud de acceso a la información pública- monitoreo participativo de calidad de agua superficial en la cuenca tambo (I-VIII)

Fuente: (ANA, 2018)



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-02339

Pág: 1/1

Señores: ESTEFANY MIRANDA CHAMBI
Dirección: CAYMA BS AIRES AM 18 m2 LT CALLE 28 DE JULIO
Atención: ESTEFANY MIRANDA CHAMBI
Proyecto: Evaluación de la capacidad fitorremediadora *thypa angustifolia* (totora) para arsénico y boro mediante el método de humedales superficiales.

Nro de muestras: 6
Muestreo realizado por: Cliente: ESTEFANY MIRANDA CHAMBI
Registro de muestreo: 369-18
Procedimiento Aplicado: Muestreado por el cliente.
Fecha de recepción: 27/10/2018
Fecha de ensayo: 27/10/2018
Fecha de emisión: 05/11/2018
Condiciones de recepción de la muestra: Cooler debidamente refrigerado
Observaciones: Datos proporcionados por el cliente.

Método de ensayo aplicado

796 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
802 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Cod. Interno LAS	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo	796 As mg/L	802 B mg/L
AG18000937	RECIPIENTE 1 - CONCENTRACION ALTA	Agua para Uso y Consumo Humano Agua de Bebida- Agua Potable	AV:INDEPENDENCIA 522 / AREQUIPA / AREQUIPA	230131,99m E - 8184558m S	27/10/18	10:50 a.m.	1,345	21,19
AG18000938	RECIPIENTE 2 - CONCENTRACION ALTA	Agua para Uso y Consumo Humano Agua de Bebida- Agua Potable	AV:INDEPENDENCIA S/N 522 / AREQUIPA / AREQUIPA	230131,99m E - 8184558m S	27/10/18	10:55 a.m.	0,2371	18,35
AG18000939	RECIPIENTE 3 - CONCENTRACION ALTA	Agua para Uso y Consumo Humano Agua de Bebida- Agua Potable	AV:INDEPENDENCIA S/N 522 / AREQUIPA / AREQUIPA	230131,99m E - 8184558m S	27/10/18	11:00 a.m.	0,0449	17,13
AG18000940	RECIPIENTE 1 - CONCENTRACION MEDIA	Agua para Uso y Consumo Humano Agua de Bebida- Agua Potable	AV:INDEPENDENCIA S/N 522 / AREQUIPA / AREQUIPA	230131,99m E - 8184558m S	27/10/18	11:05 a.m.	0,0739	11,34
AG18000941	RECIPIENTE 2 - CONCENTRACION MEDIA	Agua para Uso y Consumo Humano Agua de Bebida- Agua Potable	AV:INDEPENDENCIA S/N 522 / AREQUIPA / AREQUIPA	230131,99m E - 8184558m S	27/10/18	11:10 a.m.	0,0651	13,09
AG18000942	RECIPIENTE 3 - CONCENTRACION MEDIA	Agua para Uso y Consumo Humano Agua de Bebida- Agua Potable	AV:INDEPENDENCIA S/N 522 / AREQUIPA / AREQUIPA	230131,99m E - 8184558m S	27/10/18	11:15 a.m.	0,8504	14,40

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

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

^{*}<Valor numérico = Límite de detección del método, ^{**}<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 4000

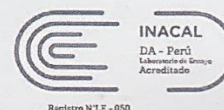
Figura 74 Primer Informe de ensayo Laboratorio Analítico del Sur (LAS) para determinación de metales en agua, acreditado por INACAL

Fuente: (LAS, 2018)



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-02638

Fecha de emisión : 11/12/2018

Página 1 de 3

Señores : MIRANDA CHAMBI ESTEFANY
Dirección : CAYMA BIENOS AIRES CMT 18 MZ P LT 3 CALLE 28 DE JULIO
Atención : MIRANDA CHAMBI ESTEFANY
Proyecto : EVALUACION DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA TOTORA PARA ARSENICO Y BORO MEDIANTE EL METODO DE HUMEDALES SUPERFICIALES IN VITRO

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : MIRANDA CHAMBI ESTEFANY
Registro de muestreo : 426-18
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 05/12/2018
Fecha de ensayo : 05/12/2018
Nro de muestras : 7

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Lugar de muestreo	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG18001127	R1- ALTA	Agua de Proceso - Agua Purificada	AV. INDEPENDENCIA S/N / AREQUIPA / AREQUIPA	23613199 E 81845385 N	05/12/2018	13:08
AG18001128	R2- ALTA	Agua de Proceso - Agua Purificada	AV. INDEPENDENCIA S/N / AREQUIPA / AREQUIPA	23013199 E 81845385 N	05/12/2018	13:10
AG18001129	R3- ALTA	Agua de Proceso - Agua Purificada	AV. INDEPENDENCIA S/N / AREQUIPA / AREQUIPA	23013199 E 81845385 N	05/12/2018	13:12
AG18001130	CONTROL	Agua de Proceso - Agua Purificada	AV. INDEPENDENCIA S/N / AREQUIPA / AREQUIPA	23013199 E 81845385 N	05/12/2018	13:14
AG18001131	R1- MEDIA	Agua de Proceso - Agua Purificada	AV. INDEPENDENCIA S/N / AREQUIPA / AREQUIPA	23013199 E 81845385 N	05/12/2018	13:16
AG18001132	R2- MEDIA	Agua de Proceso - Agua Purificada	AV. INDEPENDENCIA S/N / AREQUIPA / AREQUIPA	23013199 E 81845385 N	05/12/2018	13:18
AG18001133	R3- MEDIA	Agua de Proceso - Agua Purificada	AV. INDEPENDENCIA S/N / AREQUIPA / AREQUIPA	23013199 E 81845385 N	05/12/2018	13:20

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Contenedor no refrigerado
Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

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

*<Valor numérico = Límite de detección del método, *<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 4774

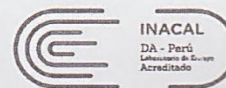
Figura 75 Segundo Informe de ensayo Laboratorio Analítico del Sur (LAS) para determinación de metales en agua, acreditado por INACAL

Fuente: (LAS, 2018)



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

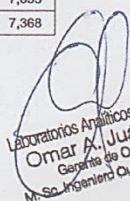
INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-02638

Fecha de emisión : 11/12/2018

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	796	802
		As	B
		mg/L	mg/L
AG18001127	R1- ALTA	0,7840	11,23
AG18001128	R2- ALTA	0,1396	9,851
AG18001129	R3- ALTA	0,0254	8,565
AG18001130	CONTROL	0,0000	0,000
AG18001131	R1- MEDIA	0,0420	6,251
AG18001132	R2- MEDIA	0,0365	7,055
AG18001133	R3- MEDIA	0,3529	7,368


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

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

“<Valor numérico” = Límite de detección del método, “<Valor Numérico” = Límite de cuantificación del método.

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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 4745

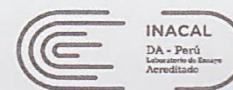
Figura 76 Segundo Informe de ensayo Laboratorio Analítico del Sur (LAS) para determinación de metales en agua, acreditado por INACAL

Fuente: (LAS, 2018)



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-02638

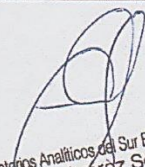
Fecha de emisión : 11/12/2018

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[^a 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[^a 0.0005 - 2.5] mg/L

^a : Límite detección^b : Límite de cuantificación


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

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

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 4746

Figura 77 Segundo Informe de ensayo Laboratorio Analítico del Sur (LAS) para determinación de metales en agua, acreditado por INACAL

Fuente: (LAS, 2018)

CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

INFORME DE ENSAYO N° 2-00488/18 Página 1/3

Solicitante : **MIRANDA CHAMBI, ESTEFANY**

Domicilio legal : **BUENOS AIRES COMITÉ 18 MZ P LT 3 CAYMA - AREQUIPA**

Producto declarado : **TALLO - RAIZ**

Lugar de Muestreo : **---**

Fecha de Muestreo : **2018-12-05**

Cantidad de Muestras para el Ensayo : **2.0 Kilogramos**
Muestra proporcionada por el solicitante

Forma de Presentación : **En Bolsa de Polietileno, Cerrada Y Conservada a Temperatura Ambiente**

Identificación de la muestra : **Según se indica**

Fecha de recepción : **2018-12-06**

Fecha de inicio del ensayo : **2018-12-06**

Fecha de término del ensayo : **2018-12-16**

Ensayo realizado en : **Laboratorio Ambiental**

Identificado con : **HS 18014147 (EXMA-19236-2018)**

Validez del documento : **Este documento es válido solo para el lote inspeccionado**

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA DE LA TOTORA PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y BORO MEDIANTE EL METODO DE HUMEDALES SUPERFICIALES IN VITRO

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
R2- ALTA	230131.99	8184558	---	---
R3-ALTA	230131.99	8184558	---	---

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000
info@cerper.com - www.cerper.com


AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CHIMBOTE
Urb. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Figura 78 Informe de ensayo Laboratorio Certificaciones del Perú (CERPER) para determinación de metales en Tallo- Raíz, acreditado por INACAL
Fuente: (CERPER, 2018)

 **CERPER**
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

INFORME DE ENSAYO N° 2-00488/18

Página 2/3

RESULTADOS

Estación de Muestreo	R2- ALTA	R2-ALTA	R3-ALTA	R3-ALTA		
	2018-12-05 13:41	2018-12-05 13:46	2018-12-05 13:51	2018-12-05 13:56		
Tipo de Muestra	TALLO	RAIZ	TALLO	RAIZ		
Parámetro	Limite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Aluminio (Al)	2	mg/kg	175	949	216	584
Antimonio (Sb)	0,04	mg/kg	0,5	0,5	0,2	0,3
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	23,4	92,7	16,3	30,9
Bario (Ba)	0,04	mg/kg	17,5	24,6	32,1	16,6
Berilio (Be)	0,01	mg/kg	<0,01	0,03	0,03	0,2
Bismuto (Bi)	0,05	mg/kg	0,1	0,1	<0,05	<0,05
Boro (B)	1	mg/kg	388	495	668	425
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,1	1,34	0,3	1,0
Calcio (Ca)	10	mg/kg	3 203	3 634	4 854	2 361
Cobalto (Co)	0,02	mg/kg	0,4	3,24	0,5	2,83
Cobre (Cu)	0,02	mg/kg	27,1	91,9	17,8	35,6
Cromo (Cr)	0,2	mg/kg	0,4	1,35	0,4	0,7
Estaño (Sn)	0,025	mg/kg	0,2	0,1	0,1	0,1
Estroncio (Sr)	0,045	mg/kg	39,1	48,4	58,4	34,9
Fósforo (P)	1	mg/kg	986	1 401	875	958
Hierro (Fe)	0,050	mg/kg	308	1 503	403	983
Litio (Li)	0,025	mg/kg	2,29	3,09	4,12	1,77
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	1 503	1 875	1 979	1 445
Manganeso (Mn)	0,03	mg/kg	97,5	300	112	140
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	0,2	0,3	0,03	0,03
Molibdeno (Mo)	0,02	mg/kg	0,8	0,8	0,8	0,5
Niquel (Ni)	0,010	mg/kg	1,0	2,65	1,28	1,96
Plata (Ag)	0,02	mg/kg	0,2	0,8	0,6	0,4
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	1,26	6,47	2,12	5,37
Potasio (K)	10	mg/kg	18 378	17 260	21 185	12 665
Selenio (Se)	0,03	mg/kg	0,2	0,6	0,2	0,6
Silicio (Si)	1	mg/kg	177	456	725	245
Sodio (Na)	2	mg/kg	5 156	5 706	5 480	4 033
Talio (Tl)	0,02	mg/kg	0,04	0,2	0,04	0,1
Teluro (Te)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Titanio (Ti)	0,05	mg/kg	7,65	32,2	11,7	26,9
Uranio (U)	0,005	mg/kg	0,1	0,2	0,1	0,1
Vanadio (V)	0,02	mg/kg	1,70	5,12	1,90	4,30
Wolframio (W)	0,05	mg/kg	<0,05	0,1	<0,05	<0,05
Zinc (Zn)	0,02	mg/kg	29,7	168	22,9	48,3

CALLAO AREQUIPA CHIMBOTE PIURA
 Oficina Principal Calle Teniente Rodríguez N° 1415 Urb. José Carlos Mariátegui s/n Urb. Angamos A - 2 - Piura
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao Miraflores - Arequipa Centro Cívico, Nuevo Chimbote T. (073) 322 908 / 9975 63161
 T. (511) 319 9000 T. (054) 265572 T. (043) 311 048

info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Figura 79 Informe de ensayo Laboratorio Certificaciones del Perú (CERPER) para determinación de metales en Tallo- Raíz, acreditado por INACAL
Fuente: (CERPER, 2018)

CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

INFORME DE ENSAYO N° 2-00488/18 Página 3/3

MÉTODOS

Metales Totales ICP-Masa: EPA METHOD 6020A. Revision 1. 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

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.

Arequipa, 20 de diciembre de 2018

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.
Catherine Servan V.
BLGO. CATHERINE SERVAN V.
C.B.P. N° 6694
SUPERVISOR LABORATORIO
MICROBIOLOGIA

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000
info@cerper.com - www.cerper.com

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572


CHIMBOTE
Urb. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Figura 80 Informe de ensayo Laboratorio Certificaciones del Perú (CERPER) para determinación de metales en Tallo- Raíz, acreditado por INACAL
Fuente: (CERPER, 2018)

ANEXO N° 7: Fichas técnicas



FICHA TECNICA

FICHA TÉCNICA "ROOT- HOR"®

EMPRESA: Comercial Andina Industrial S.A.C.

PRODUCTO: **Root-Hor®** - Regulador de crecimiento

I.- N°. REG. PBUA N° 057-SENASA


II.- INGREDIENTES ACTIVOS:

• Ácido Alfa Naftalenacético	0.40 %
• Ácido 3 Indol Butírico	0.10 %
• Ácidos Nucleicos	0.10 %
• Sulfato de Zinc	0.40 %
• Solución Nutritiva	95.40 %

III.- CARACTERÍSTICAS: Físico - Químicas

• Estado Físico	Líquido
• Color	Turquesa
• Olor	Característico
• Densidad	1.03 +/- 0.01
• PH	2.5 +/- 0.2
• Solubilidad en agua	100 % Soluble
• Estabilidad	Estable
• Inflamabilidad	No inflamable
• Explosividad	No explosivo
• Corrosividad	No corrosivo
• Combustibilidad	No combustible
• Estabilidad de almacenamiento	Estable 2 años

IV.- FORMULACIÓN: Concentrado Soluble.



Av. Benavides 1579. 7mo piso. Oficina 702. Edificio Del Park II. Lima 18 - Perú / Telf.: (01) 253-6444 - Fax: 271-1988 / e-mail: atencionalcliente@grupoandina.com.pe
www.grupoandina.com.pe

Figura 81 Ficha técnica enraizante Root - Hor
Fuente: (Comercial andina industrial S.A.C, 2014)

FICHA TECNICA



V.- MODO DE ACCION:

Generalmente la producción natural de las hormonas responsables del enraizamiento, están sujetas a los niveles de concentración de otras hormonas, ya que en forma natural la planta trata de tener un equilibrio en su crecimiento, con **Root-Hor®** se favorece la acción de las auxinas en forma armónica.

Root-Hor® es un producto que penetra en los tejidos celulares y ocasiona una favorable concentración de auxinas, básicamente Alfa Naftalenacético (ANA) y el Ácido Indol Butírico (AIB) en la planta, estimulando el desarrollo radicular. En conjunto, las fitohormonas actúan en la formación de raíces, especialmente en estacas, acodos y frutales, esquejes de diversos cultivos, emitiendo raicillas en corto tiempo.

VI.- RECOMENDACIONES DE USOS

CULTIVO	Dosis de Root-Hor en la inmersión de esquejes	Dosis de Root-Hor / 200 L de agua en la aplicación foliar
Frutales	0.5 %	250 ml.
Yuca	0.5 %	250 ml.
Clavel	0.5 %	250 ml.
Col	0.5 %	250 ml.
Páprika	-	250 ml.
Alcachofa	-	250 ml.

VII.- MOMENTO DE APLICACIÓN:


Para enraizamiento de acodos y esquejes, en un recipiente verter 5 ml de **Root-Hor®** por 1 litro de agua, introducir las estacas 3 cm del nivel de agua del recipiente, durante 3-5 minutos, luego de la aparición de las primeras hojas, se complementa con una segunda aplicación foliar.

Para enraizamiento en hortalizas, verter 250 ml de **Root-Hor®** en 200 litros de agua, mezclar homogéneamente y aplicar foliarmente de acuerdo a las indicaciones por cultivos.



Grupo
Andina

Figura 82 Ficha técnica enraizante Root - Hor
Fuente: (Comercial andina industrial S.A.C, 2014)



FICHA TÉCNICA

MANVERT NPK

COMPOSICIÓN

Manvert NPK es un fertilizante foliar líquido que contiene 8% de Nitrógeno, 8% de Fósforo, 6% de Potasio (N-P-K) y elementos menores.

	%p/p	%p/v
Nitrógeno total (N)	8,0	9,7
Nitrógeno nítrico (N)	2,5	3,0
Nitrógeno amoniacal (N)	3,1	3,8
Nitrógeno uréico (N)	2,4	2,9
Anhidrido fosfórico (P2 O5) soluble en agua	8,0	9,7
Óxido de potasio (K2O) soluble en agua	6,0	7,3
	%p/p	
Cobre (Cu) totalmente quelatado y soluble en agua	0,005	
Manganeso (Mn) totalmente quelatado y soluble en agua	0,01	
Zinc (Zn) totalmente quelatado y soluble en agua	0,005	
Microelementos quelatados con EDTA		

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Manvert NPK es un fertilizante foliar líquido indicado para aportar nitrógeno, fósforo y potasio a la planta en los momentos de máxima actividad vegetativa, ya que es necesario complementar la fertilización del suelo con aportaciones foliares en las fases de crecimiento vegetativo, preflorescencia, caída de pétalos y crecimiento de los frutos.

APLICACIONES

Manvert NPK se aplica en todos los cultivos, tanto en fruticultura, horticultura, ornamentales y cultivos extensivos e industriales. Mejora el desarrollo de las plantas y sus frutos dando mayor resistencia frente a adversidades climáticas, sequía y efectos depresivos de plagas y enfermedades. Fortalece las yemas para una mejor fructificación. Manvert NPK puede mezclarse con cualquier producto fitosanitario a excepción de caldos sulfocálcicos y/o polisulfúricos, pudiendo aprovechar cualquier tratamiento para su aplicación.

DOSIS Y MODO DE EMPLEO

CULTIVO	L/200L	L/Ha
Olivo	1	5-7
Frutales de hueso (melocotón, nectarino, ciruela, albaricoque, cereza)	1	3-5
Frutales de pepita (manzano, peral)	1	3-5
Vid	1	3-5
Cítricos	1	3-5
Papa	1	2-5
Hortícolas (tomate, pepinillo, zapallo)	1	2-4
Ornamentales	1	2-4
Maíz, Arroz	1	3-6
Forrajeras (alfalfa, trébol)	1	3-6
Leguminosas (Frijol, arveja)	1	2-4

Figura 83 Ficha técnica enraizante – Manvert NPK
Fuente: (Hortus, 2018)

FICHA TÉCNICA
MANVERT NPK

Fertirrigación 10-12 L/Ha y día.
Tratar cuando el cultivo este en crecimiento activo, con preferencia después de lluvia o riego. Pulverizar por la mañana temprano o a última hora de la tarde.

CONSERVACIÓN, ALMACENAJE Y TRANSPORTE

Manténgase fuera del alcance de los niños. Manténgase lejos de alimentos y bebidas para humanos y/o animales. Lavarse con agua y jabón tras su manipulación. No apilar una paleta sobre otra. Margen de temperatura recomendada para el almacenaje +5°C a +35°C. Este producto no está sujeto a ninguna normativa toxicológica para su manejo para su aplicación. Intervalo de pH en el que se garantiza estabilidad de la fracción quelatada 4 - 9,5.
La Compañía garantiza la riqueza y composición del producto, y no se hace responsable de los daños causados por un uso inadecuado, por inobservancia total o parcial de las instrucciones de la etiqueta. Se recomienda su utilización bajo asesoramiento técnico agronómico.

Figura 84 Ficha técnica enraizante – Manvert NPK
Fuente: (Hortus, 2018)


















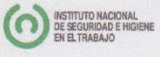
Fichas Internacionales de Seguridad Química			
ARSÉNICO			
ICSC: 0013 Junio 2011			
CAS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	7440-38-2 1558 033-001-00-X 231-148-6		
As Masa atómica: 74.9	    		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas. NO poner en contacto con oxidantes fuertes. NO poner en contacto con superficies calientes.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con: ver Peligros Químicos.	NO poner en contacto con materiales incompatibles: ver Peligros Químicos	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	
Inhalación	Ver Ingestión.	Sistema cerrado y ventilación.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica si se siente mal.
Piel		Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos		Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad).
Ingestión	Dolor abdominal. Diarrea-Náuseas. Vómitos. Debilidad. Shock o colapso. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente precintable. Recoger cuidadosamente el residuo, trasladarlo a continuación a un lugar seguro.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: T, N R: 23/25-50/53 S: (1/2-)20/21-28-45-60-61 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Tóxico en caso de ingestión. Puede provocar cáncer. Susceptible de perjudicar la fertilidad o dañar el feto. Provoca daño en el tracto gastrointestinal en caso de ingestión. Provoca daño en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. Tóxico para los organismos acuáticos con efectos nocivos duraderos.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
		Separado de oxidantes fuertes, ácidos, halógenos, alimentos y piensos. Bien cerrado. Medidas para contener el efluente de extinción de incendios. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2011			
      			
• VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO			

Figura 85 Ficha técnica de Seguridad Química del As
Fuente: (IPCS, 2011)

Fichas Internacionales de Seguridad Química	
ARSÉNICO	ICSC: 0013
DATOS IMPORTANTES	
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Cristales quebradizos, grises de aspecto metálico.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS Por calentamiento intenso se producen humos tóxicos. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y halógenos originando peligro de incendio y explosión. Reacciona con agentes reductores produciendo gas tóxico e inflamable de arsina (Ver FISQ 0222).</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 0.01 mg/m³ como TWA; A1 (cancerígeno humano confirmado); BEI establecido; (ACGIH 2010). MAK: Cancerígeno: categoría 1; Mutágeno: categoría 3A; (DFG 2009).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa, especialmente si está en forma de polvo.</p> <p>EFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia puede afectar al tracto gastrointestinal, dando lugar a gastroenteritis grave, pérdida de fluidos y electrolitos, alteraciones cardíacas, "shock" y convulsiones. La exposición muy por encima del OEL puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p>EFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar a las membranas mucosas, piel, sistema nervioso periférico, hígado y la médula ósea, dando lugar a neuropatías, desórdenes en la pigmentación, perforación del tabique nasal, hiperqueratosis, anemia, alteraciones hepáticas. Esta sustancia es carcinógena para los seres humanos. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	
<p>Punto de sublimación: 613°C Densidad: 5.7 g/cm³</p> <p>Solubilidad en agua: ninguna</p>	<p>Temperatura de autoignición: 180°C</p>
DATOS AMBIENTALES	
La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos. Se aconseja firmemente impedir que el producto químico se incorpore al ambiente.	
NOTAS	
La sustancia es combustible pero no se encuentra referenciado en la bibliografía el punto de inflamación. Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. NO llevar a casa la ropa de trabajo.	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2012): VLA-ED: 0,01 mg/m³ Notas: Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH; esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o como biocida. VLB: 35 µg As/L en orina de arsénico inorgánico más metabolitos metilados. Nota F</p>	
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.
© IPCS, CE 2011	

Figura 86 Ficha técnica de Seguridad Química del As
Fuente: (IPCS, 2011)

Fichas Internacionales de Seguridad Química

TETRABORATO DE DISODIO, DECAHIDRATADO		ICSC: 0567	
		Septiembre 1997	
Tetraborato de sodio, decahidratado Piroborato de sodio, decahidratado Borax			
CAS:	1303-96-4	B ₄ O ₇ Na ₂ · 10H ₂ O	
RTECS:	VZ2275000	Masa molecular: 381.4	
CE / EINECS:	215-540-4		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN			
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR LA EXPOSICIÓN DE MUJERES (EMBARAZADAS)!	
Inhalación	Tos. Jadeo. Dolor de garganta. Hemorragia nasal.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada.
Piel	Piel seca. Enrojecimiento. Dolor.	Guantes de protección.	Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad protección ocular combinada con protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Diarrea. Dolor de cabeza. Náuseas. Vómitos. Debilidad. Convulsiones.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Recoger cuidadosamente el residuo, trasladarlo a continuación a un lugar seguro. Protección personal adicional: respirador de filtro P2 para partículas nocivas.			
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
		Separado de ácidos.	
IPCS International Programme on Chemical Safety	  	 	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 1998			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Figura 87 Ficha técnica de Seguridad Química del B
Fuente: (IPCS, 2011)

Fichas Internacionales de Seguridad Química

TETRABORATO DE DISODIO, DECAHIDRATADO

ICSC: 0567

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Cristales blancos o polvo cristalino

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia es una base débil.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: Boratos, compuestos inorgánicos 2 mg/m³ como TWA; 6 mg/m³ como STEL; A4 (no clasificable como cancerígeno humano); (ACGIH 2005).
MAK no establecido.

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire cuando se dispersa.

EFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, riñón e hígado, en caso de ingestión. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.

EFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 320 °C

Punto de fusión: 75 °C

Densidad relativa (agua = 1): 1.7

Solubilidad en agua, g/100 ml a 20 °C: 5.1

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.

NOTAS

Jaikin, Pyrobor, Three Elephant, V-Bor son nombres comerciales. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en noviembre de 2008: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: (como Boratos, compuestos inorgánicos) 2 mg/m³VLA-EC: 6 mg/m³

Notas: sustancia tóxica para la reproducción humana de categoría 1B.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© IPCS, CE 1998

Figura 88 Ficha técnica de Seguridad Química del B
Fuente: (IPCS, 2011)

ANEXO N° 8: Disposición final para los residuos de la fitorremediación

Los Residuos peligrosos (RESPEL) son aquellos residuos o desechos peligrosos el cual tiene características intrínsecas de peligrosidad para la salud o el ambiente y no tienen forma de darles un uso posterior. (López Corrales, 2014)

Los productos de la fitorremediación son considerados residuos peligrosos debido a que el contaminante se queda en la planta, por lo cual es necesario darle una disposición final adecuada, el objetivo de la disposición final es llevar al confinamiento los residuos minimizando liberación de contaminantes.

- **Horno Incinerador**

El objetivo fundamental del horno incinerador, es la eliminación total del residuo utilizando las altas temperaturas controladas hasta transformarlo en cenizas. El éxito de este manejo es el diseño de los hornos que debe garantizar la adecuada capacidad de carga y temperatura relacionada con el ingreso de aire y el combustible.

En el proceso de incineración el residuo es oxidado con el oxígeno del aire, generando emisiones gaseosas que contienen mayoritariamente dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno y oxígeno. En el proceso se generan residuos sólidos como cenizas. (López Corrales, 2014)



Figura 89 Hornos de incineración
Fuente: (Tecniamsa, 2010)

- Celdas de seguridad

El relleno sanitario es utilizado para poner las cenizas de las plantas después de haber pasado por el horno incinerador el cual consiste en un terreno con varias celdas para la disposición de los residuos y un conjunto de elementos de infraestructura para la recepción y acondicionamiento de los residuos, así como para el control de ingreso y evaluación de su funcionamiento.

La evaluación de esta opción como sistema de disposición final deberá tener en cuenta que el relleno cumpla con las condiciones mínimas de seguridad para manejar RESPEL y que los residuos a disponer cumplan con las condiciones de aceptación y planes de contingencia, así como un programa de monitoreo ambiental. La disposición de RESPEL en un relleno de seguridad deberá darse última opción y cuando se haya agotado todas las demás alternativas. (López Corrales, 2014)



Figura 90 Celdas de seguridad
Fuente: (Tecniamsa, 2010)