

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ciencias de la Salud

Escuela Académico Profesional de Farmacia y Bioquímica

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FITORREMEIADORA DEL

Schoenoplectus californicus “junco” EN AGUA CONTAMINADA

CON ARSÉNICO. TACNA 2013

TESIS

Presentada por:

Bach. BLANCA MIRIAM BEDOYA ESCOBAR

Para optar el Título Profesional de:

QUÍMICO FARMACÉUTICO

TACNA - PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ciencias de la Salud
Escuela Académico Profesional de Farmacia y Bioquímica

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FITORREMIADORA DEL
Schoenoplectus californicus "junco" EN AGUA CONTAMINADA CON
ARSÉNICO. TACNA 2013

TESIS

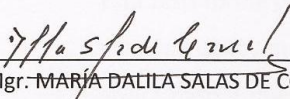
Presentada por:

Bach. BLANCA MIRIAM BEDOYA ESCOBAR

Para optar el Título Profesional de:

QUÍMICO FARMACÉUTICO

Aprobado por Unanimidad, ante el siguiente jurado:


Mgr. MARIA DALILA SALAS DE CORNEJO

Presidenta


Q.F. EDGARDO GUIDO CALDERÓN COPA

Miembro


Q.F. YEMILE DEL CARMEN BERRIOS ESPEJO

Miembro


Dr. RICARDO ORTIZ FAUCHEUX

Asesor

DEDICATORIA

Esta tesis forma parte del final de otra etapa de mi vida, constituyéndose así en el portal que me abrirá paso a nuevas experiencias es por ello que con mucho amor se la dedico a Dios y de manera muy especial a mis padres “Eduardo Bedoya Paredes y Luz Escobar Gil”, con quienes estaré agradecida toda la vida, por su amor, por sus atenciones, por su comprensión, por apoyarme siempre y en cada momento en cada una de mis actividades, porque por ellos estoy logrando concluir mis primeros objetivos, gracias por darme tantas enseñanzas

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme culminar esta jornada.

A mis padres por su apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mis estudios.

A la escuela de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

A mi asesor el Dr. Ricardo Ernesto Ortiz Faucheux, por su apoyo, valiosa asesoría y consejos brindados en la realización del presente trabajo.

A los miembros del jurado de tesis: Ms. María Dalila Salas de Cornejo, Q.F. Yemile del Carmen Berrios Espejo, Q.F. Edgard Guido Calderón Copa, quienes con sus acertadas sugerencias contribuyeron a enriquecer el valor de este trabajo de investigación.

A los docentes: Prof. Alfredo Quispe Rivera, Blgo. Mblgo. Edwin Obando Velarde, Dra. Rosario Zegarra Zegarra y Técnica de laboratorio Gleny Maquera Flores, quienes me apoyaron de manera incondicional brindándome su tiempo, paciencia, dedicación y su valiosa asesoría.

Y a todas aquellas personas que colaboraron de cualquier manera para la culminación de este trabajo de investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA 4

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 6

1.3. JUSTIFICACIÓN 7

1.4. OBJETIVOS 9

 1.4.1. Objetivos Generales 9

 1.4.2. Objetivos Específicos..... 9

1.5. HIPÓTESIS 10

 1.5.1. Hipótesis General 10

1.6. DETERMINACIÓN DE VARIABLES..... 10

 1.6.1. Tipos de variables..... 10

 1.6.2. Operacionalización de variables 11

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. ANTECEDENTES	12
2.2. BASE TEÓRICA	19
2.2.1. Arsénico.....	19
2.2.1.1. Generalidades	19
2.2.1.2. Compuestos de arsénico	21
2.2.1.3. Dinámica del arsénico en el medio ambiente	23
2.2.1.4. Arsénico en agua para consumo humano.....	25
2.2.1.5. Toxicidad del arsénico	27
2.2.1.6. Impacto de la intoxicación por arsénico en la población....	29
2.2.1.6.1. Intoxicación aguda por arsénico	29
2.2.1.6.2. Intoxicación crónica por arsénico.....	30
2.2.1.6.3. Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE).....	31
2.2.1.6.4. Efectos carcinogénicos.....	32
2.2.1.7. Métodos analíticos para determinar y cuantificar arsénico ..	33
2.2.1.8. Métodos para remoción de arsénico en agua	36

2.2.1.8.1. Fitorremediación	37
2.2.1.8.1.1. Generalidades.....	37
2.2.1.8.1.2. Características de la fitorremediación.....	38
2.2.1.8.1.3. Ventajas y desventajas.....	39
2.2.1.8.1.4. Tipos de fitorremediación	40
2.2.1.8.1.5. Mecanismos de resistencia a los metales pesados	42
2.2.1.8.1.6. Sistema de fitorremediación acuática	43
2.2.1.8.1.7. Tipos de plantas acuáticas	44
2.2.1.8.1.8. Criterios de selección de plantas.....	45
2.2.2. <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco”	46
2.2.2.1. Generalidades	46
2.2.2.2. Adaptación.....	48
2.2.2.2. Taxonomía	49
2.2.2.3. Morfología de la planta	49
2.2.2.4. Usos	54

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	56
3.1. DISEÑO Y TIPO DE ESTUDIO	56
3.2. LUGAR DE ESTUDIO	57
3.3. UNIDAD DE ESTUDIO	57
3.4. MATERIAL DE LABORATORIO	58
3.5. METODOLOGÍA	61
3.5.1. <i>Schoenoplectus californicus</i>	61
3.5.1.1. Recolección de la especie	61
3.5.1.2. Selección e identificación de la especie	61
3.5.2. Procedimiento de la metodología	62
3.5.2.1. Fase de adaptación	63
3.5.2.2. Fase de nutrición	66
3.5.2.3. Fase de intoxicación	67
3.5.2.3.1. Solución patrón de arsénico (1mg/l)	69
3.5.3. Determinación de la concentración de arsénico en agua	71
3.5.3.1. Método de Gutzeit.....	71

3.5.3.2. Técnica de medición	72
3.5.4. Evaluación cualitativa del <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco”	74
3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	75
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
4.1. RESULTADOS.....	77
4.2. DISCUSIÓN	99
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS.....	122
MATRIZ DE CONSISTENCIA	147

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco” en agua contaminada con arsénico. **Metodología:** Diseño experimental, prospectivo, longitudinal y analítico. La evaluación de la actividad fitorremediadora se realizó bajo condiciones laborales en tres fases: fase de adaptación por 4 días, fase de nutrición por 3 días y fase de intoxicación (se realizó 4 grupos experimentales con concentraciones de 0,05; 0,1; 0,5 y 1mg de As por litro de agua; cada grupo experimental con su control y testigo) por 14 días. Las concentraciones de As se determinaron mediante el método de Gutzeit, cuyos datos se procesaron mediante estadística descriptiva e inferencial. **Resultados:** la actividad fitorremediadora fue más evidente a los cuatro días de tratamiento en las muestras de estudio. **Conclusión:** El *Schoenoplectus californicus* “junco” presenta actividad fitorremediadora en agua contaminada con arsénico.

Palabras claves: Fitorremediación, *Schoenoplectus californicus*.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the activity fitorremediadora of *Schoenoplectus californicus* "junco" in water contaminated with arsenic. **Methodology:** design experimental, prospective, longitudinal and analytical. The evaluating of the activity fitorremediadora under laboratory conditions was carried out in three phases: adaptation for 4 days, nutrition phase for 3 days and phase of intoxication (4 experimental groups were performed with concentrations of 0,05, 0,1, 0,5 and 1 mg of As for liter of water each experimental group with control and control) for 14 days. The concentrations of arsenic were determined by the Gutzeit method, the data were processed using descriptive and inferential statistics. **Results:** The activity fitorremediadora was more evident after four days of treatment in the study samples. **Conclusion:** The *Schoenoplectus californicus* "junco" has activity fitorremediadora in water contaminated for arsenic.

Keywords: Phytoremediation, *Schoenoplectus californicus*.

INTRODUCCIÓN

Existen importantes problemas de salud causados por contaminantes químicos orgánicos e inorgánicos disueltos en el agua de consumo humano. Los riesgos más trascendentales, asociados a este tipo de contaminación, corresponden principalmente a la capacidad de los componentes químicos de producir efectos adversos sobre el organismo humano en períodos prolongados de exposición aún a dosis relativamente bajas, al menos que se presente en forma eventual una contaminación masiva que produzca efectos agudos sobre la salud.

Uno de los elementos traza inorgánicos presentes en el agua al que se le ha prestado más atención en los últimos tiempos, es al arsénico (As). Este elemento, de amplia distribución, se encuentra habitualmente como especie disuelta en el agua, ya sea superficial o subterránea. ^(1, 2) Según la Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) de Estados Unidos, lo considera entre los primeros puestos, en lo que a toxicidad se refiere. ⁽³⁾ Varios países de América han reportado la existencia de población expuesta, es el caso de Canadá, Estados Unidos, Chile, Argentina, Bolivia, México, El Salvador, Nicaragua y Perú. ⁽⁴⁾

La ingestión prolongada de agua con concentraciones bajas de As inorgánico, está asociada a varios efectos crónicos sobre la salud de la población expuesta, entre ellos, problemas cutáneos tales como melanosis, queratosis y cáncer (piel, vejiga, riñón, pulmón), enfermedades de los vasos sanguíneos de las piernas y pies, posiblemente también diabetes, hipertensión arterial, trastornos reproductivos y menoscabo del desarrollo intelectual de los niños. ⁽⁵⁾

En cuanto a las tecnologías de remoción de As del agua, existen diferentes tipos utilizadas en poblaciones medianas y pequeñas, con eficacias que van desde 70 hasta 99%. Los métodos de coagulación-floculación y ablandamiento con cal son los más usados en grandes sistemas y no se emplean exclusivamente para remover dicho elemento. En los últimos años se ha trabajado con gran intensidad en tecnologías alternativas, fundamentalmente en fitorremediación. ⁽⁶⁾

De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz.

Un gran número de plantas se han estudiado para la remediación de ambientes contaminados con sustancias tales como: As, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, Hg, etc. En trabajos realizados en el Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA) de Buenos Aires, se han utilizado macrófitas flotantes (*Spirodela intermedia*, *Lemna minor* y *Pistia stratiotes*) en experimentos de remoción simultánea de metales pesados del agua (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} y Cr^{2+}) utilizando las plantas acuáticas vivas y desecadas, con muy buenos resultados. ⁽⁴⁾

Se ha reportado investigaciones de algunas plantas con un alto poder de acumulación de As en aguas contaminadas. Las más estudiadas son: Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), Lentejas de agua (*Lemna gibba*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza*), Espinaca de agua (*Ipomoea aquatica*), Helechos de agua (*Azollacaroliniana*, *Azolla filiculoides*, y *Azolla pinnata*), Maleza acuática (*Hydrilla verticillata*), Berro (*Lepidium sativum*) y Repollo de agua (*Pistia stratiotes*). ⁽⁷⁾

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco” en agua contaminada con arsénico, a nivel laboratorial.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha incrementado la contaminación del agua por arsénico (As). ⁽⁸⁾ La presencia de este metal en aguas de consumo humano ha ocasionado en todo el planeta alteraciones a la salud humana conocidas como arsénicosis (en Latinoamérica se denomina hidroarsenicismo crónico regional endémico, HACRE), se trata de una enfermedad crónica que deviene del consumo de agua y alimentos con pequeñas cantidades de este durante periodos prolongados. ⁽⁹⁾

El As es un “veneno invisible” ya que no se le puede detectar ni por el olor, color, inclusive ni el sabor. Sus principales manifestaciones son serias alteraciones dermatológicas como melanodermia, leucodermia y/o queratosis palmo-plantar, evolucionando hacia patologías más graves que pueden relacionarse con distintos tipos de cáncer en piel y en órganos internos (esófago, estómago, hígado, colón, pulmón, vejiga). ⁽⁵⁾

Este problema se da en varios países y se estima que afecta a más de 45 millones de personas mundialmente. En los últimos años se ha hallado este elemento en aguas de consumo en 14 de los 20 países de América latina, lo cual no significa que el contaminante esté ausente, sino que simplemente no se ha comenzado el estudio en esos países. ^(8, 10)

La organización mundial de la salud (OMS) recomienda una concentración de 0,01mg/l. ⁽⁹⁾ En Perú, de acuerdo al reglamento de calidad de agua para consumo humano (Decreto Supremo 031-2010) recomienda 0,01mg/l y la superintendencia nacional de servicios de saneamiento (SUNASS) 0,05mg/l. ⁽¹¹⁾

En el Perú, en el departamento de Tacna, el monitoreo realizado por la autoridad nacional del agua revela que el agua que consume la población, que es potabilizada por la empresa prestadora de servicios (EPS) muestra preocupantes niveles de As. Se estima que la presencia de este elemento químico sobrepasa los valores máximos permisibles señalados según D.S. 031 – 2010; es decir que supera el valor de 0,01 mg/L y el valor 0,05 mg/L en el ingreso y/o captación del agua en las plantas de tratamiento de Calana y Alto Lima. ^(12, 13)

El Proyecto Especial de Tacna (PET), que transporta el agua de la cordillera (laguna Casiri, Paucarani, condorpuquio y de los pozos del Ayro) a la ciudad de Tacna, indica que existe la presencia del arsénico en cantidades superiores a lo que señala el reglamento o norma de aguas, (D.S. 031 – 2010), es decir superiores a 0,01 mg/l y 0,05 mg/l; (con valores desde 0,07 mg/l hasta 0,12 mg/l).⁽¹⁴⁾

Ante esta problemática y a manera de contribuir con una alternativa natural, se realiza el trabajo de investigación titulado “Evaluación de la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco” en agua contaminada con arsénico”.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Por lo expuesto queda establecida la siguiente interrogante en la investigación:

- ✓ ¿El *Schoenoplectus californicus* “junco” tiene actividad fitorremediadora en agua contaminada con arsénico?

1.3. JUSTIFICACIÓN

A nivel internacional la contaminación de As en agua de consumo humano se ha convertido en un problema de salud pública, ya que la exposición prolongada se relaciona con un incremento de casos de cáncer así como enfermedades cutáneas. ⁽⁸⁾

Un estudio realizado en Perú en el departamento de Tacna durante el periodo 2010-2011 que asocia el consumo de agua contaminada con la frecuencia de cáncer, demostró que el valor de As hallado fue de 0,056 mg/L y que las neoplasias malignas más frecuentes han sido cáncer de piel (29%), cuello uterino (14%), mama (10%), estómago (8%), colón (6%), linfoma (5%), próstata (5%), pulmón (4%), vesícula (3%), ovario (3%) y otros (13%). ⁽¹⁶⁾

Es por ello, la necesidad de llevar a cabo este trabajo de investigación que permite extraer este elemento del agua, a base de un proceso natural como la fitorremediación. A la vez resulta muy importante para el ambiente, para el desarrollo y bienestar de las comunidades.

Existen trabajos que se han realizado para remover este elemento, algunos muy eficientes y otros no, pero resultan ser complejos de utilizar, además de tener altos costos asociados con la inversión, operación y mantenimiento. Además, cabe señalar que la mayoría de los trabajos reportados se enfocan en la remoción de As (V) en agua y poco se sabe de la remoción de As (III), por ello el interés de estudiar y experimentar la remoción de As (III) en agua.

El tratamiento de aguas con plantas acuáticas (fitorremediación) ha despertado un gran interés en la investigación por el potencial que presenta para la depuración de la misma. Algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral, en el cual no solo se remueven eficientemente material orgánico y sólido suspendido sino que también se logra reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y organismos patógenos. Por otro lado complementando inteligentemente las tecnologías clásicas con la fitorremediación puede mejorarse la eficiencia de los tratamientos y eliminar los problemas de contaminación.⁽¹⁵⁾

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVOS GENERALES

- ✓ Evaluar la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco” en agua contaminada con arsénico.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar la adaptación y nutrición del *Schoenoplectus californicus* “junco” en agua destilada.
- ✓ Inducir la intoxicación del *Schoenoplectus californicus* “junco” con diferentes concentraciones de arsénico (0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg/l) en agua destilada.
- ✓ Determinar la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco” en función del tiempo en diferentes concentraciones de arsénico (0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg/l).
- ✓ Determinar los porcentajes de fitorremediación del *Schoenoplectus californicus* “junco” en diferentes concentraciones de arsénico (0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg/l).
- ✓ Evaluar los cambios físicos de la raíz del *Schoenoplectus californicus* “junco” de acuerdo a la escala de Likert.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

- ✓ Existe actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco” en agua contaminada con arsénico.

1.6. DETERMINACIÓN DE VARIABLES

1.6.1. TIPOS VARIABLES

1.6.1.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- ✓ Actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco”.

1.6.1.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- ✓ Concentración de arsénico en agua.

1.6.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN	INDICADOR	CATEGORIZACIÓN	ESCALA
VARIABLE INDEPENDIENTE Actividad fitorremediadora del <i>Schoenoplectus californicus</i>	Tecnología sustentable que se basa en el uso del <i>S. californicus</i> para reducir la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua.	Con actividad fitorremediadora	CON ACTIVIDAD FITORREMEDIADORA Concentración inicial > concentración final	Razón
		Sin actividad fitorremediadora	SIN ACTIVIDAD FITORREMEDIADORA Concentración inicial ≤ concentración final	
VARIABLE DEPENDIENTE Concentración de arsénico en agua	Cantidad de arsénico que hay en el agua	$\frac{mg \text{ de arsénico}}{volumen \text{ de agua (l)}}$	CONCENTRACIONES MEDIDAS C ₁ = 0.05 mg/L C ₂ = 0.1 mg/L C ₃ = 0.5 mg/L C ₄ = 1 mg/L	

Fuente: Elaboración propia del investigador

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Con la finalidad de tener mayores elementos de juicio se revisó los siguientes trabajos de investigación:

2.1.1. INTERNACIONALES

En Brasil, Carabantes Galetovic A, Fernicola N. (2003), realizaron la investigación “***Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública***”; se basaron en estudios epidemiológicos que relacionan la ingestión de arsénico en el agua de bebida con cáncer en la piel y estudios ocupacionales que relacionan la exposición de este elemento con cáncer de pulmón; concluyeron que la exposición afecta a gran número de poblaciones en el mundo por tratarse de un agente carcinogénico para humanos. ⁽¹⁷⁾

En México, Castro de Esparza M.L. (2006), realizó la investigación “***Presencia de arsénico en el agua de bebida***

en América Latina y su efecto en la salud pública"; este trabajo fue una recopilación bibliográfica de la problemática del arsénico en el agua de bebida y sus efectos en la salud de las personas expuestas; finalmente estudios toxicológicos y epidemiológicos confirmaron que el consumo de agua con este elemento a largo plazo conlleva a efectos crónicos como (lesiones en la piel, la hiperpigmentación e hiperqueratosis palmo-plantar, desórdenes del sistema nervioso, diabetes mellitus, anemia, alteraciones del hígado, enfermedades vasculares, cáncer de piel, pulmón y vejiga) y a la generación de arsenicismo.⁽¹⁸⁾

En Argentina, Navoni J.A, Pietri D, García S, Villaamil L. (2008), realizaron la investigación "***Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires***"; en el estudio analizaron la concentración de As, en agua recolectada de las localidades de la provincia de Buenos Aires y su relación epidemiológica con factores de susceptibilidad y patologías asociadas; los resultados mostraron que las concentraciones se encontraron en un rango de 0,3µg/L hasta 187 µg/L, con una mediana de 40 µg/L. El 82% de las muestras presentaron niveles superiores al valor límite

aceptable de 10 µg/L, y más de la mitad de ellas provenían de agua de red. La mortalidad promedio (defunciones/100 000 habitantes) por tumores en los departamentos estudiados fue mayor en los varones que en las mujeres: vías respiratorias (310 frente a 76), vías urinarias (44 frente a 11) y piel (21 frente a 11), respectivamente. Las regiones de mayor concentración de este elemento y pobreza, junto con la falta de agua de red, presentaron un riesgo relativo incrementado de 2 a 4 veces. ⁽¹⁹⁾

En Guatemala, Benítez Pacheco I.L. (2008), Realizó el estudio "***Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas JACINTO DE AGUA (Eichhornia crassipes) y TUL (Thypa spp) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales la cerra, villa canales por medio de fluorescencia de RAYOS X***"; donde el objetivo fue determinar la concentración de metales pesados y establecer el nivel y la distribución de los mismos en las fracciones de la planta; resultó que las dos plantas acuáticas estudiadas (Jacinto acuático y tul) mostraron bioacumulación de calcio, vanadio, manganeso, hierro, níquel, cobre, zinc, arsénico, plomo, rubidio, potasio, cromo, estroncio y titanio en niveles significativos y variables, y se hizo más evidente en las raíces

que en las hojas. Donde se pudo afirmar que este sistema, aunque poco difundido en Guatemala, es una buena alternativa para tratar los efluentes de actividades industriales.⁽²⁰⁾

En México, Calderón Torres J. (2009), realizó el estudio **“fitorremediación de aguas residuales por hidroponía”**; el objetivo fue eliminar metales, nitratos y fosfatos de aguas residuales usando plantas de Menta (*Mentha piperita*) y girasol (*Helianthus annuus*); resultó que el proceso utilizado no fue 100% efectivo, la eliminación de compuestos de nitratos y fosfatos de las aguas residuales estudiadas fue parcial, donde alcanzó 40% en la remoción de fosfatos y 60% en la remoción de nitratos. Se obtuvo remoción de potasio y magnesio de 45% y en otros metales como calcio no hubo remoción.⁽²¹⁾

En España, Rodríguez A. (2011), realizó la publicación **“Las plantas que logran potabilizar agua”**, Aquaphytext compañía extremeña, ha cambiado las turbinas por juncos, carrizos y otras plantas habituales de las riberas. Estos vegetales tienen la particularidad de que inyectan oxígeno del aire hasta sus raíces. Aquí la aportación natural del oxígeno permite ahorrar el 80% del gasto energético de los sistemas

mecánicos. Además las plantas evitan los malos olores de estas instalaciones y reemplaza el impacto visual de los tanques de hormigón. El proceso elimina prácticamente el fango residual. ⁽²²⁾

En Ecuador, Jaramillo Jumbo M, Flores Campoverde E. D. (2012), realizaron el estudio “**Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemma minor* (lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera**”; Donde el objetivo fue disminuir la concentración de sales de mercurio mediante plantas que actúan como bioacumuladores y establecer la capacidad de absorción de cada una de las especies; resultó que la capacidad de absorción de las macrófitas acuáticas al mercurio fue de 29,5% por lo que se afirmó que es eficiente para remover dicho elemento del agua. ⁽¹⁵⁾

En Venezuela, Mallia M, Auxilia D, Dautant R, Windevoxhel A. realizaron el estudio “**Fitorremediación de aguas residuales contentivas de cromo con especies de la familia *cannaceae***”; Se estudió la remoción de cromo (Cr) en

sus estados (III) y (VI) mediante fitorremediación con *Canna indica* y *Canna glauca*, plantas tropicales adaptables al medio acuático; encontrándose que los mayores valores de remoción de Cr (III) y (VI) se obtuvieron con la *Canna indica*. Se observó también un bajo nivel de remoción y el deterioro de las plantas para efluentes con Cr (VI).⁽²³⁾

2.1.2. NACIONAL

En Lima, Flores E, Pérez J. (2009), realizaron el estudio “**determinación de arsénico, por absorción atómica, en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisterna y de pozo del distrito de puente piedra**”, el objetivo fue determinar la concentración de As en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisternas y de pozo en el distrito de Puente Piedra; Se encontró que la concentración promedio del total de muestras provenientes de SEDAPAL fue de 9,13 µg/L, el total de muestras provenientes de cisterna fue de 5,04 µg/L y el total de muestras del pozo en el distrito de Puente Piedra fue de 22,40 µg/L.⁽²⁴⁾

2.1.3. LOCAL

En Tacna, Ticona Castro M.A. (2010-2011), realizó el estudio “**contaminación del agua potable con arsénico y frecuencia del cáncer en la ciudad de Tacna 2010-2011**”; determino el nivel de contaminación del agua potable con As y la frecuencia de presentación de cáncer en la ciudad de Tacna, durante los años 2007-2010; resulto que el nivel de As medio en el agua potable de la ciudad de Tacna es de 0,056mg/L y los niveles más altos de As en las piletas de agua potable fueron detectados en los distrito de Pocollay, Ciudad Nueva y Tacna cercado. Las neoplasias malignas más frecuentes en ESSALUD-Tacna durante los años 2010-2011 han sido cáncer de piel (29%), cuello uterino (14%), mama (10%), estómago (8%), colón (6%), linfoma (5%), próstata (5%), pulmón (4%), vesícula (3%), ovario (3%) y otros (13%).⁽¹⁶⁾

2.2. BASE TEÓRICA

2.2.1. ARSÉNICO

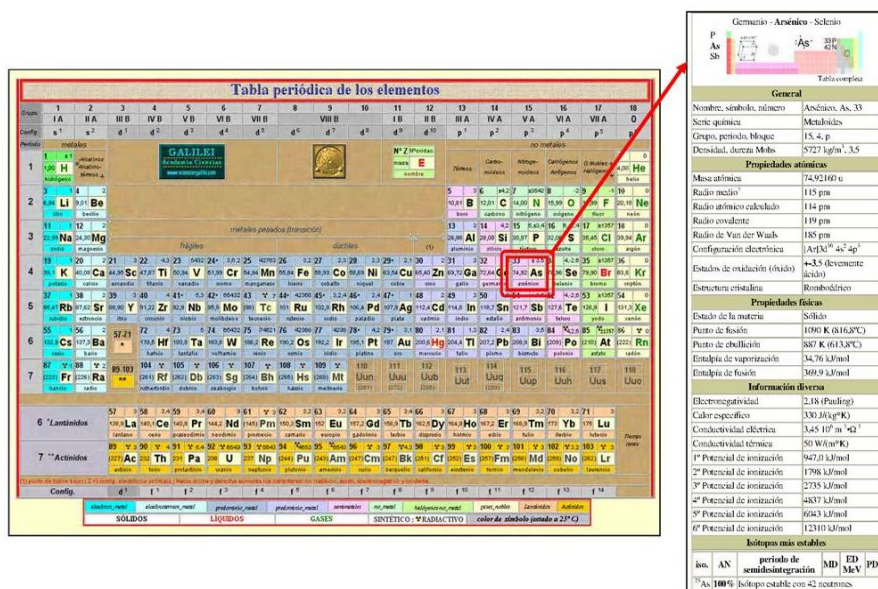
2.2.1.1. GENERALIDADES

El arsénico (As) es un elemento considerado entre los veinte más abundantes sobre la tierra. Está presente en cantidades traza en rocas, suelo, agua y aire. ⁽¹⁷⁾

Este elemento perteneciente al grupo V-A de la tabla periódica, de número atómico 33 y peso atómico 74,92. Se presenta en tres estados alotrópicos: gris, negro y amarillo. Por su posición en dicho grupo, muestra propiedades intermedias entre los metales y los no metales (metaloide), aunque por su electronegatividad y energía de ionización predominan las características de no metal y forma más fácilmente aniones que cationes. Por su posición en la tabla periódica, este elemento presenta un comportamiento químico similar al del fósforo. ^(25, 26) (Figura N°1, Pág.25)

Se encuentra en la naturaleza libre y combinado en un gran número de minerales, donde existe en cuatro estados de oxidación: Arsina (As^{-3}), Arsénico metaloide (As^0), Arsenito (As^{+3}) y Arseniato (As^{+5}). ⁽²⁷⁾

FIGURA N°1: Ubicación y propiedades del arsénico



Fuente: Moreno Jiménez E. Recuperación de suelos mineros contaminados con arsénico mediante Fito tecnologías. Pág. 7. (26)

Este metal fue descubierto en el siglo XIII por Alberto Magno (aunque se cree que se empleó mucho antes como adición al bronce para dar un acabado lustroso). Paracelso (1493-1541) lo introdujo en la ciencia médica. Schroeder en 1649, publicó dos métodos de preparación del elemento. Pedro Ábano, en el siglo XV, describe por primera vez sus efectos tóxicos. En los siglos siguientes, su uso quedó en manos de charlatanes y brujos, además del que diera la nobleza y la jerarquía eclesiástica para exterminar a sus enemigos. (25, 27)

2.2.1.2. COMPUESTOS DE ARSÉNICO

El As se encuentra en la naturaleza de dos formas: formando compuestos inorgánicos y orgánicos.

2.2.1.2.1. COMPUESTOS INORGÁNICOS

Los compuestos inorgánicos de As son principalmente de origen geológico y pueden encontrarse en el agua subterránea que se emplea para el agua de bebida en algunas partes del mundo. ^(28, 29)

• TRIVALENTES

- ✓ As_2O_3 : Trióxido de As, As blanco, Óxido Arsenioso
- ✓ $\text{H}_3\text{AsO}_3 - \text{HAsO}_2 - \text{H}_2\text{AsO}_3 - \text{HAsO}_3^{-2} - \text{AsO}_3^{-3}$: Ácidos Arseniosos
- ✓ AsCl_3 : Tricloruro de As
- ✓ As_2S_3 : Trisulfuro de As

• PENTAVALENTES

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

La estabilidad de las formas inorgánicas del As depende de su valencia y de la naturaleza del medio. En medios oxigenados y de pH alto se favorece la forma pentavalente, mientras que en aquellos reducidos y/o ácidos, las formas trivalentes. ^(29, 30)

2.2.1.2.2. 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. ⁽²⁹⁾

• **Los compuestos orgánicos de As son:**

- ✓ Ac. Monometilarsónico (MMA)
- ✓ Ac. Dimetilarsínico (DMA)
- ✓ Óxido de trimetilarsina (TMAO)
- ✓ Monometilarsina
- ✓ Dimetilarsina
- ✓ Trimetilarsina
- ✓ Ac. 3-Nitro-4-hidroxi-fenilarsénico
- ✓ Ac. 4-Nitrofenilarsénico

- ✓ Arsenobetaina (AB)
- ✓ Arsenocolina (AC)
- ✓ Dialcildicloroarsina
- ✓ Alcildicloroarsina

De los compuestos orgánicos de As, se pueden destacar como los más importantes en la salud ambiental, las especies metiladas del As que son el MMA y DMA, los cuales son excretados a través de la orina. También se deben destacar la AB y la AC, estas formas orgánicas de As se encuentran principalmente en los productos marinos. ⁽²⁹⁾

2.2.1.3. DINÁMICA DEL ARSÉNICO EN EL MEDIO AMBIENTE

Se presenta en la naturaleza como un elemento asociado a las rocas sedimentarias, rocas volcánicas y en aguas geotermales; además se presenta con mayor frecuencia como sulfuro de arsénico y arsenopirita que se encuentran como impurezas de los depósitos mineros, o como arsenato o arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. ⁽³¹⁾

Este elemento mencionado en las fuentes naturales se encuentra como pentavalente, mientras que en los derivados que provienen de la actividad del hombre, su forma más usual es la trivalente. Estos derivados pasan al medio ambiente a consecuencia de su uso como insecticidas, herbicidas, esterilizantes del suelo, decolorantes de vidrio, defoliantes, antiparasitarios y como descarga industrial de fundiciones minerales. ⁽³²⁾

Este elemento en aguas naturales es muy variable y probablemente depende de las formas que se encuentre en el suelo local. Aunque son posibles combinaciones de todas formas, se puede suponer, razonablemente, que en el agua, la forma inorgánica pentavalente es predominante (H_3AsO_4 , H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} , AsO_4^{3-}). Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica, favorecen el cambio a especies pentavalentes, y, a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente. Es decir, en agua saturada de aire la principal forma de arsénico serían los compuestos pentavalentes, pero se ha demostrado que bajo estas condiciones también existen compuestos trivalentes. ^(32, 33, 34)

2.2.1.4. ARSÉNICO EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Es un problema mundial que afecta a los países en los cinco continentes. El daño más grave para la salud ha tenido lugar en Bangladesh y Bengala occidental, India. ^(8, 17)

El Fondo de Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) estima que 12 millones de personas en Bangladesh estaban bebiendo agua contaminada con arsénico en el 2006, y el número de personas que presentaron síntomas de arsenicismo era de 40 000, pero podría aumentar a un millón. Así también varios países de América han reportado la existencia de población expuesta crónicamente a concentraciones de este elemento en el agua que beben, que son superiores a las previstas por la normatividad de los países. Tal es el caso de Canadá, Estados Unidos, Chile, Perú, Bolivia, México, el Salvador y Nicaragua. La única forma de contrarrestar los efectos del agua contaminada con arsénico es cambiar a fuentes no contaminadas o eliminarlo antes que se consuma. ⁽⁸⁾

2.2.1.4.1. NORMATIVIDAD

En los últimos años se advierte una tendencia general de las organizaciones reguladoras y los países industrializados a reducir los límites máximos permitidos de arsénico en agua de bebida, debido al riesgo carcinogénico del mismo para el ser humano en piel y algunos órganos internos. ^(17, 35)

CUADRO N°1: Valores guía de arsénico establecido según agencias reguladoras

PAIS/ORGANIZACIÓN	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO
Organización Mundial de la Salud (OMS)	0.01 mg/l
Agencia De Protección Ambiental De Estados Americanos (USEPA)	0.05mg/l
Comunidad Económica Europea (CCE)	0.01 mg/l

Fuente: Elaboración propia del investigador

En el Perú existen diferentes normas que regulan los valores de la concentración, siendo las más importantes las que se detallan en el cuadro N°2. ^(17, 36)

CUADRO N°2: Valores guía de arsénico establecido según normas peruanas

PAÍS/ORGANIZACIÓN	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO
Reglamento de calidad de agua para consumo humano (D.S. 031-2010)	0.01 mg/l
superintendencia nacional de servicios de saneamiento (SUNASS)	0.05mg/l

Fuente: Elaboración propia del investigador

2.2.1.5. TOXICIDAD DEL ARSÉNICO

La toxicidad depende en gran medida de la forma en que este presente (estado de oxidación, estructura química y solubilidad). El arsénico inorgánico presente en forma trivalente, es mucho más tóxico que su forma orgánica, que se presenta comúnmente en los alimentos del mar, y su tiempo de permanencia en el cuerpo es de unos cuatro días. ⁽³⁷⁾ En general, el As^{+3} es de 4 a 10 veces más tóxico que el As^{+5} y 70 veces más tóxico que el As orgánico, la intoxicación puede producir efectos carcinógenos o no carcinógenos. ⁽³⁸⁾

La escala de toxicidad decrece de la siguiente manera: Arsina>As⁺³ inorgánico> As⁺³ orgánico> As⁺⁵ inorgánico> As⁺⁵ orgánico> compuestos arsenicales y As elemental. Estas especies pueden ser fácilmente transformadas por cambios en la actividad biológica, el potencial rédox o el pH. ⁽³⁹⁾

Las principales vías de absorción son, en primer lugar, la oral relacionada con el consumo de agua, alimentos, y en menor grado la inhalación de polvo y vapores. La introducción del arsénico inorgánico y sus compuestos en los seres humanos, ocurre principalmente por la ingestión, este se absorbe en pocas horas por encima del 90% de la dosis ingerida. ⁽⁸⁾

Después de la absorción a través del tracto gastrointestinal, se distribuye rápidamente por la sangre hacia todos los órganos y tejidos, puede concentrarse inicialmente más en el hígado, riñón y en los pulmones; en cabello y uñas es donde se ha observado un mayor tiempo de retención. ⁽⁴⁰⁾ La excreción del As absorbido se realiza principalmente por la orina, solo se excreta una pequeña cantidad en las heces. ⁽⁸⁾

2.2.1.6. IMPACTO DE LA INTOXICACIÓN POR ARSÉNICO EN LA POBLACIÓN

Es conocido desde hace años que la exposición al As por la ingestión puede causar efectos adversos a la salud humana, como los siguientes: ⁽¹⁷⁾

2.2.1.6.1. INTOXICACIÓN AGUDA POR ARSÉNICO

Aparece como un cuadro gastrointestinal coleriforme, con vómitos, diarreas e intensos dolores abdominales, fiebre, insomnio, anemia, hepatomegalia, melanosis, alteraciones cardiacas. La pérdida de sensibilidad en el sistema nervioso periférico es el efecto neurológico más frecuente; aparece una a dos semanas después de exposiciones grandes, y consta de degeneración walleriana de axones, un estado reversible si se suspende la exposición. Los síntomas de la intoxicación aguda pueden aparecer en minutos o bien muchas horas después de la ingestión de entre 100 a 300 mg de este elemento, aunque también es posible la inhalación de polvo o la absorción cutánea. ^(41, 42)

2.2.1.6.2. INTOXICACIÓN CRÓNICA POR ARSÉNICO

Los efectos crónicos del As son: ⁽⁴²⁾

- ✓ Desbalance electrolítico asociado a las pérdidas excesivas de líquidos desde la sangre a los tejidos y al tracto gastrointestinal.
- ✓ Depresión hematopoyética, caída del recuento de leucocitos y ocasionalmente anemia aplásica
- ✓ Inflamación de ojos y tracto respiratorio.
- ✓ Pérdida de apetito y de peso.
- ✓ Distintos grados de daños hepático, ictericia, cirrosis portal y ascitis.
- ✓ Distintos tipos de dermatosis que incluyen hiperpigmentación, hiperqueratosis palmo plantar, descamación y pérdida de cabello.
- ✓ Estrías blancas en las uñas (líneas de Mees-Aldrich).
- ✓ Enfermedades vasculares periféricas (denominada enfermedad del “pie negro”).

2.2.1.6.3. HIDROARSENICISMO CRÓNICO REGIONAL ENDÉMICO (HACRE)

Es una enfermedad crónica producida por el consumo de arsénico a través del agua en un área geográfica definida y en forma permanente, luego de un periodo variable de exposición a concentraciones mayores de 0,05 mg/L. Esto produce que la persona se enferme, pierda su empleo y se vuelva improductiva. Estudios recientes han demostrado que la población infantil expuesta durante el periodo prenatal y posnatal, puede tener menor desempeño neurológico que los niños no expuestos. En el periodo hiperhidrótico, los primeros síntomas aparecen después de residir un tiempo prolongado en las zonas endémicas. Existe sudoración en las palmas de las manos y plantas de los pies, descamación y prurito. El periodo hiperqueratósico, es el síntoma más constante y evocador de la enfermedad, la hiperqueratosis puede ser difusa o localizada; las lesiones que pueden ser simétricas en palmas y

plantas, pueden llegar a comprometer el dorso de manos y pies. El periodo melanodermico, la piel muestra una serie de manchas que comienzan en el tronco y se extienden sin afectar las mucosas por todo el cuerpo. La pigmentación generalmente no es uniforme y puede variar, desde el bronceado al negro humo subsistiendo puntos de piel de color normal. En el periodo de complicaciones se puede producir una displasia inicial moderada a nivel de la piel que con el tiempo puede evolucionar a una displasia severa, que por lo general provoca la muerte. ^(32, 41)

2.2.1.6.4. EFECTOS CARCINOGENICOS

El As presente en el agua potable (principalmente inorgánico como arsenatos y en menor intensidad, como arsenitos) fue evaluado por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, en Lyon, Francia (IARC), como cancerígeno humano del grupo 1. Esta clasificación se realizó con base en las evidencias suficientes del incremento de riesgo de cáncer en piel, vejiga y

pulmón entre individuos expuestos a estos compuestos.

La Agencia de Protección Ambiental (USEPA) y el Integrated Risk Information System (IRIS), de Estados Unidos, lo reportan como cancerígeno del grupo A, por las mismas razones anteriores y por el aumento de cáncer de piel observado en poblaciones que consumen agua potable con cantidades elevadas de arsénico inorgánico. El arsénico ha sido fuertemente asociado al cáncer de piel y más recientemente asociado a cáncer de vejiga, de pulmón, de hígado, de estómago y de riñón. ^(41, 43)

2.2.1.7. MÉTODOS ANALÍTICOS PARA DETERMINAR Y CUANTIFICAR ARSÉNICO

La mayor parte de métodos utilizados para la determinación son la espectroscopia de masas, de emisión o absorción atómica. Dentro de las cuales podemos mencionar las siguientes: ⁽⁴⁴⁾

2.2.1.7.1. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN

- ✓ Método de gutzeit o colorimétrico
- ✓ Método del dietil di tiocarbamato de plata
- ✓ Método de azul de molibdeno

2.2.1.7.2. TÉCNICAS ESPECTROFOTOMÉTRICAS

ATÓMICAS

- ✓ Generación de hidruros (HG) asociada con espectrofotometría de absorción (AAS) y fluorescencia atómica (AFS).
- ✓ Espectrofotometría de absorción atómica con atomización eléctrica (ETAAS).
- ✓ Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) y espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS).
- ✓ Electroforesis capilar (CE).
- ✓ espectrofotometría

2.2.1.7.3. OTRAS TÉCNICAS

- ✓ Fluorescencia de rayos X
- ✓ Técnicas electroquímicas

CUADRO N°3: Técnicas para la determinación de arsénico y sus respectivos límites

MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN
Método Gutzeit o colorimétrico	0,5 ug/l
diteiltiocarbamato de plata	5 ug/l
azul de molibdeno	1-15 ug/l
generación de hidruros – AAS	0,1 ug/l
generación de hidruros - ICP-OES	0,1 ug/l
generación de hidruros - ICP-MS	0,03 ug/l
ETAAS	0,5 ug/l
espectroforesis capilar	1 ug/l
fluorescencia de rayos X	50 ug/l
Técnicas electroquímicas	0,05 - 0,5 ug/l

Fuente: Marconi Valenzuela O.C.H, remoción de arsénico de las aguas del río maure, en el poblado rural de Challapalca, utilizando hidrogel de hidróxido de aluminio. Pág. 52 ⁽⁴⁴⁾

Ante la necesidad de determinar los diferentes estados existentes del arsénico (As^{+3} , As^{+5}) se suelen acoplar los métodos cromatográficos como por ejemplo: cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC). ⁽⁴⁴⁾

2.2.1.8. MÉTODOS PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA

Se han desarrollado una gran cantidad de tecnologías con el fin de eliminar este elemento del agua, solo que estas técnicas resultan ser complejas y caras. En general, el tratamiento de agua potable está orientado a remover color, turbiedad y microorganismos de origen fecal.

Esta remoción se logra a través de una combinación adecuada de procesos: coagulación - floculación - sedimentación - filtración y desinfección. Pero cuando se desea remover elementos químicos del agua, como el arsénico, es necesario recurrir a métodos más complejos. ⁽⁸⁾

Existen diversas tecnologías para remover este elemento del agua con eficiencias del 70% al 99%, estas eficiencias pueden variar por factores como el pH, concentración inicial, así como por la forma y estado de oxidación en la cual se encuentra (As^{+3} y/o As^{+5}).

Las técnicas explicadas más adelante, son algunas técnicas empleadas para la remoción de arsénico: oxido - reducción, separación sólido - líquido (adsorción, ablandamiento con cal, coagulación - adsorción - filtración,

intercambio iónico), separación física (electrodialisis inversa, ósmosis inversa y nano filtración) y procesos biológicos (fitorremediación y biofiltración).⁽⁸⁾

2.2.1.8.1. FITORREMEDIACIÓN

2.2.1.8.1.1. GENERALIDADES

El término fitorremediación hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire. Es un término relativamente nuevo desde 1991. Se compone de dos palabras, “Fito” que en griego significa planta o vegetal, y “remediar” que significa poner remedio al daño, corregir o enmendar algo.^(45, 46, 47, 48)

De manera más completa, este proceso puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir “in situ” la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la

reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes. (26, 49)

2.2.1.8.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA FITORREMEDIACIÓN

Las características más comunes son: (50)

- ✓ Es una técnica de limpieza pasiva, estéticamente agradable y dependiente de la energía solar.
- ✓ Se emplean en zonas no muy extensas y donde la contaminación no está a mucha profundidad.
- ✓ Es una técnica empleada para un amplio rango de contaminantes.
- ✓ Aunque las medidas fitocorrectoras son mucho más lentas que los métodos mecánicos y llegan solamente a la profundidad hasta la cual llegan las raíces, pueden eliminar los últimos restos de contaminantes atrapados en el suelo que a veces quedan con las técnicas mecánicas de tratamiento.
- ✓ La hiperacumulación de metales que conlleva al desarrollo de mecanismos de tolerancia en las plantas que cuentan con esta capacidad.

2.2.1.8.1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Principales ventajas y desventajas que ofrece la fitorremediación, en comparación con otras tecnologías convencionales.⁽⁵¹⁾

CUADRO N°4: Ventajas y desventajas de la fitorremediación

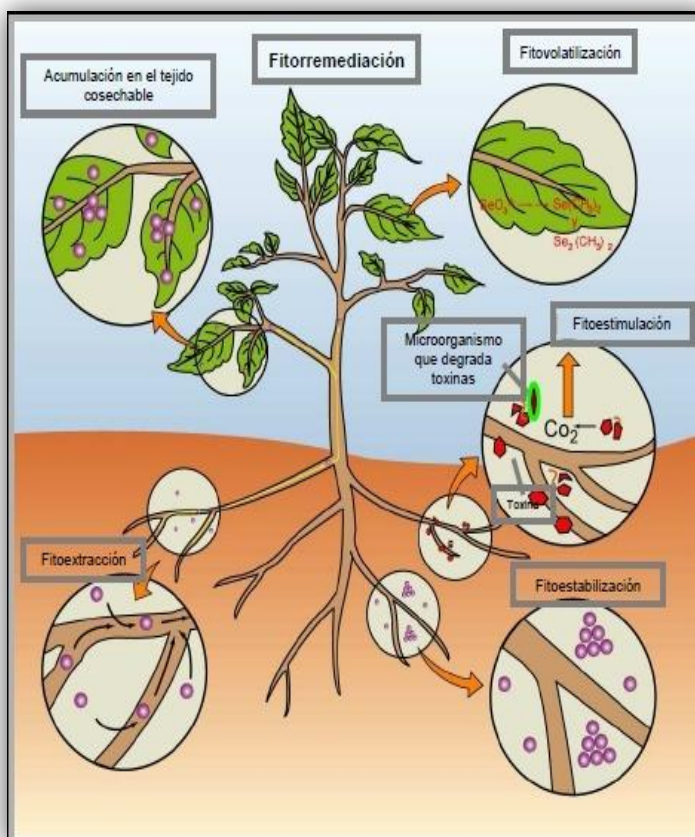
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es una tecnología sustentable. ✓ Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ. ✓ Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas. ✓ Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía. ✓ Es poco perjudicial para el ambiente ✓ No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho. ✓ Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable. ✓ Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos. ✓ Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos). ✓ Es dependiente de las estaciones. ✓ El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental. ✓ Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes). ✓ Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión. ✓ No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras. ✓ La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes. ✓ Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos).

Fuente: Núñez López R.A y Col. fitorremediación. Pág. 71.⁽⁵¹⁾

2.2.1.8.1.4. TIPOS DE FITORREMEDIACIÓN

Las plantas pueden incorporar las sustancias contaminantes mediante distintos procesos que se representan en la figura N°2 y se explican en el cuadro N°5: (48)

FIGURA N°2: Zonas de la planta donde ocurre el proceso de fitorremediación



Fuente: Martín Cabo S. uso de plantas para tratamiento de aguas residuales. 2012. (15)

CUADRO N°5: Procesos utilizados por las plantas para asimilar contaminantes

Fito Tecnología	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
FITOEXTRACCIÓN	Las plantas se usan para concentrar principalmente metales en las partes cosechables (parte aérea). Las plantas importantes para la fitoextracción de metales pesados son denominadas hiperacumuladores ya que tienen una gran tolerancia a éstas sustancias y pueden absorberlas en grandes cantidades.	Metales (Ag, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn); radioisótopos (⁹⁰ Sr, ¹³⁷ Cs, ²³⁹ Pu, ²³⁸ U, ²³⁴ U); no metales (As, B).
FITOSTABILIZACIÓN	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros.
FITOSTIMULACIÓN	Las raíces secretan exudados (enzimas y ácidos orgánicos, entre otros) que estimulan el crecimiento de diversas bacterias y hongos en la rizósfera.	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, etc.
FITOTRANSFORMACIÓN	FITODEGRADACIÓN Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (TNT, DNT, nitrobenceno, nitrotolueno), solventes clorados, pesticidas fosfatados, fenoles, etc.
	FITOVOLATILIZACIÓN Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración. Los compuestos liberados a la atmósfera pueden ser más fácilmente degradados.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).
RIZOFILTRACIÓN	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos.	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos.
RIZODEGRADACIÓN	Similar a la Fitodegradación pero aquí los hongos y las bacterias que habitan en el suelo alrededor de las raíces de las plantas son los encargados de degradar los contaminantes.	

Fuente: Martín Cabo S. uso de plantas para tratamiento de aguas residuales. 2012. ⁽¹⁵⁾

2.2.1.8.1.5. MECANISMOS DE RESISTENCIA A LOS METALES PESADOS

Las plantas que crecen en medios contaminados han desarrollado mecanismos de tolerantes a dichos ambientes, los cuales se clasifican dentro de dos categorías:

2.2.1.8.1.5.1. EXCLUSIÓN

Implica la formación de compuestos bioquímicos en el medio ambiente o en la pared celular de las plantas; precipitando los metales al exterior a través de secreciones y otros compuestos orgánicos. ⁽¹⁵⁾

2.2.1.8.1.5.2. INCLUSIÓN Y 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. ⁽¹⁵⁾

2.2.1.8.1.6. SISTEMA DE FITORREMEDIACIÓN ACUÁTICA

Los sistemas de fitorremediación acuática pueden ser de cuatro tipos: ⁽⁴⁶⁾

2.2.1.8.1.6.1. HUMEDALES CONSTRUIDOS

Se definen como un complejo de sustratos saturados, vegetación emergente y subemergente, animales y agua, que simula los humedales naturales, diseñado y hecho por el hombre para su beneficio.

2.2.1.8.1.6.2. SISTEMA DE TRATAMIENTO CON PLANTAS ACUÁTICAS FLOTANTES

Pueden ser estanques semiconstruidos o naturales, donde se mantienen plantas flotantes para tratar aguas residuales.

2.2.1.8.1.6.3. SISTEMA DE TRATAMIENTO INTEGRAL

Es una combinación de los dos sistemas anteriores.

2.2.1.8.1.6.4. SISTEMA DE RIZOFILTRACIÓN

Se ha demostrado que estos sistemas pueden remover eficientemente fosfatos, nitratos, fenoles, pesticidas, metales pesados, elementos radiactivos, fluoruros, bacterias y virus, de aguas residuales municipales, agrícolas e industriales.

2.2.1.8.1.7. TIPOS DE PLANTAS ACUÁTICAS

Con base en sus formas de vida, las plantas utilizadas en los sistemas de fitorremediación acuática se clasifican en tres grupos: ⁽¹⁵⁾

2.2.1.8.1.7.1. EMERGENTES

La raíz de estas plantas está enterrada 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*), junco (*Schoenoplectus californicus*).

2.2.1.8.1.7.2. FLOTANTES

Se subdividen en dos grupos:

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 mínima*).

Plantas de hoja flotante (fijas): tienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua, pero sus raíces están fijadas en los sedimentos. Ejemplo: nenúfares

2.2.1.8.1.7.3. 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 (*Ceratophyllum demersum*), hidrilla o maleza (*Hydrilla verticillata*) y pastos (*Phyllospadix torreyi*).

2.2.1.8.1.8. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PLANTAS

La eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de fitorremediación dependerá principalmente de la especie de planta utilizada y su estado de crecimiento, además del tipo de metal a remover. Por lo tanto las plantas a utilizar deben presentar las siguientes características: ⁽⁵¹⁾

- ✓ Tolerantes a altas concentraciones de metales.
- ✓ Acumuladoras de metales.
- ✓ Rápida tasa de crecimiento y alta productividad.

- ✓ Especies locales, representativas de la comunidad natural.
- ✓ Fácilmente cosechables

2.2.2. *Schoenoplectus californicus* “Junco”

2.2.2.1. GENERALIDADES

Schoenoplectus californicus llamada “junco” o “totora”, es una planta herbácea perenne acuática, de la familia de las ciperáceas, común en esteros y pantanos de América del sur. Es una planta que sus tallos pueden llegar a medir entre 1 y 3 metros de altura. Durante la primavera y comienzo del verano se da el mayor crecimiento. ⁽⁵²⁾

El papel del *Schoenoplectus californicus* en los humedales artificiales se resume en lo siguiente: ⁽²⁴⁾

- ✓ Servir de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas.
- ✓ Asimilación directa de nutrientes (en especial Nitrógeno y Fósforo) y metales, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal.

- ✓ Actuar a modo de soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación.
- ✓ Transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dichos microorganismos.

Se tiene referencia de algunos estudios sobre la capacidad depuradora de los humedales con totora. En el cuadro se presentan algunos resultados al respecto. ⁽⁵³⁾

CUADRO N°6: Capacidad depuradora

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

Fuente: Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Pág. 24 ⁽⁵³⁾

2.2.2.2. ADAPTACIÓN

Las especies tienen un gran rango de adaptación; por ello es que constituyen las especies dominantes en lugares donde las condiciones restringen las posibilidades de desarrollo de otras especies.

Son plantas de climas templados que prosperan en posiciones soleadas, tolerando un amplio rango de pH (4 - 9). La temperatura media óptima para su desarrollo está dentro del intervalo de 16 °C a 27 °C. Se utilizan principalmente en humedales artificiales de flujo superficial (lecho de grava/arena).⁽⁵³⁾

Es una especie hidrófita emergente que crece en suelos inundados de forma permanente o temporal, desde ambientes dulceacuícolas hasta salobres, donde puede haber influencia de mareas.

Habita tanto la zona litoral de sistemas lénticos como las márgenes de sistemas lóxicos, dado que tolera diferentes intensidades de la energía del agua. Crece en aguas de más de 1m de profundidad.⁽⁵⁴⁾

2.2.2.3. TAXONOMÍA

REINO	Plantae
SUBREINO	Tracheobionta
FILO	Magnoliophyta
CLASE	Liliopsida
SUBCLASE	Commelinidae
ORDEN	Ciperales
FAMILIA	Cyperaceae
GENERO	<i>Schoenoplectus</i>
ESPECIE	<i>Schoenoplectus californicus</i>
NOMBRES COMUNES	Juco, totora

Fuente: taxonomía de *Schoenoplectus californicus* ⁽⁵⁵⁾

2.2.2.4. MORFOLOGÍA DE LA PLANTA

Tienen epidermis muy delgadas a fin de reducir la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes y tejidos; grandes espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire con oxígeno. Esto permite la transferencia de oxígeno desde el aire y órganos fotosintéticos, y desde ahí hacia las raíces. ⁽⁵⁰⁾

2.2.2.4.1. RIZOMAS

La totora tiene rizomas, que son tallos subterráneos que crecen paralelamente a la superficie del suelo. Éstos presentan a un lado raíces adventicias y al otro ramas hacia la superficie con hojas y yemas. Acumulan reservas, con lo que aumentan su volumen, y en épocas favorables las yemas aprovechan esas reservas para germinar. ⁽⁵³⁾

FIGURA N°3: Raíz del *Schoenoplectus californicus* “junco”



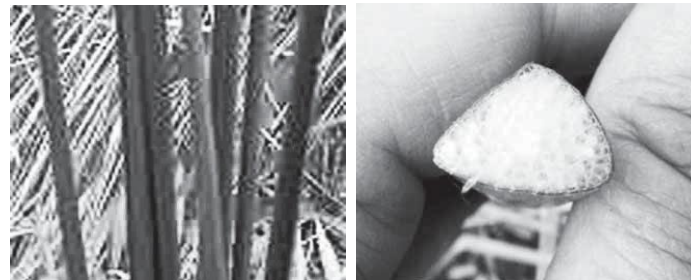
Fuente: Delgadillo O, Camacho A, Pérez L, Andrade M. depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Pág. 23 ⁽⁵⁰⁾

2.2.2.4.2. TALLOS

Varían de 1 m a 4 m, erectos, remotos o próximos entre sí; lisos, trígonos, verde - amarillentos. Presentan vainas foliares pardo

oscuro, sin láminas. Los tallos tienen parénquimas, que son tejidos sin color con grandes espacios intercelulares llenos de aire, que facilitan la flotación y la llegada de aire a los órganos sumergidos. En las plantas vasculares, los tejidos de conducción están asociados a células parenquimáticas y tejidos de sostén.⁽⁵³⁾

FIGURA N°4: Tallos del *Schoenoplectus californicus* “junco”



Fuente: Delgadillo O, Camacho A, Pérez L, Andrade M. depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Pág. 23.⁽⁵⁰⁾

Se agrupan en pequeños haces conductores, que son de dos clases:

2.2.2.4.2.1. XILEMA

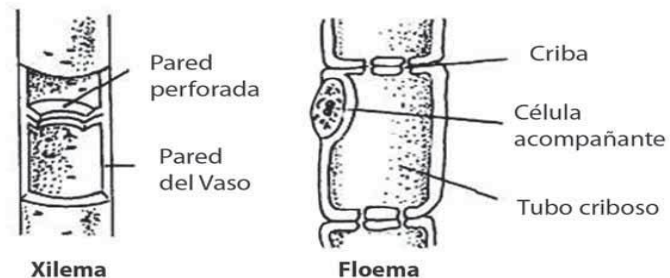
El xilema está formado por vasos leñosos o tráqueas. Incluyen también las denominadas traqueidas, formadas por células alargadas con

orificios llamados puntuaciones, que las comunican entre sí.

2.2.2.4.2.2. FLOEMA

El floema está constituido por tubos o células cribosas. Entre las células existen tabiques con agujeros o cribas que se obturan a bajas temperaturas y dificultan la conducción de sustancias orgánicas. ⁽⁵³⁾

FIGURA N° 5: Xilema y floema del *Schoenoplectus californicus* “junco”



Fuente: Delgadillo O, Camacho A, Pérez L, Andrade M. depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Pág. 23 ⁽⁵⁰⁾

2.2.2.4.3. INFLORESCENCIA

La inflorescencia es descompuesta. Brácteas hasta 10 cm, bractéolas hasta 5 cm, espiguillas de 3 mm, ovoides, agudas, agrupadas, rojizo glanduloso.

Aquenios oblongos, amarillentos o pardo oscuro; escamas irregularmente plumosas. ⁽⁵³⁾

FIGURA N° 6: Inflorescencia del *Schoenoplectus californicus* “junco”



Fuente: Delgadillo O, Camacho A, Pérez L, Andrade M. depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Pág. 24. ⁽⁵⁰⁾

2.2.2.4.4. REPRODUCCIÓN

En la mayoría de los casos se reproduce vegetativamente. La reproducción por semillas es muy limitada debido a que generalmente no logran germinar. La reproducción vegetativa es por desarrollo de propágulos vegetativos; o sea, mediante células especializadas en propagar la planta (meristemas), agrupadas en estructuras especiales (rizomas). De esta manera se producen individuos nuevos, pero adaptados al medio ambiente. ⁽⁵³⁾

2.2.2.5. USOS

2.2.2.5.1. ALIMENTICIO

Los brotes tiernos de *Schoenoplectus californicus* “junco” pueden ser consumidos como verdura por su alto contenido de yodo. La etnia de los uros los llama "Chullu" y es uno de sus principales alimentos. ⁽⁵⁶⁾

2.2.2.5.2. MEDICINAL

Se utiliza como astringente para controlar las diarreas y como febrífugo para controlar la fiebre. ⁽⁵⁶⁾

2.2.2.5.3. ARTESANAL

La fibra del *Schoenoplectus californicus* “junco” es utilizada para elaborar esteras, sillas, muebles, petates, carteras, canastas, sombreros, y redecillas para transportar recipientes de agua como cántaros, garrafas y jarras. ⁽⁵⁶⁾

2.2.2.5.4. CONSTRUCCIÓN

Con el *Schoenoplectus californicus* "junco" se construyen viviendas y embarcaciones. Tal es el caso de los uros, quienes construyen viviendas flotantes en las aguas del lago Titicaca, así como balsas hechas de totora. En algunas playas del norte del Perú, se fabrican "caballitos de totora", con los que los pescadores artesanales desarrollan su actividad. ⁽⁵⁶⁾

2.2.2.5.5. FORRAJE

El *Schoenoplectus californicus* "junco" es empleado como alimento para el ganado. ⁽⁵⁶⁾

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO

Para efectos de la contrastación de la hipótesis, se utilizó el diseño experimental, prospectivo, longitudinal y analítico. ⁽⁵⁷⁾

El estudio responde al diseño experimental, porque se hacen variar intencionalmente la variable independiente mediante diferentes concentraciones de arsénico en agua; responde a estudios prospectivo, porque el investigador toma los datos de primera fuente; responde al estudio longitudinal, porque se plantea una relación entre diversas variables de estudio en las que los datos se recolectan en diferentes momentos (inicial, 1 día, 4 días, 8 días y 14 días); y responde a estudio analítico, porque se enumeran las características para determinar sus interrelaciones y rango. ⁽⁵⁷⁾

3.2. LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se desarrolló entre los meses de noviembre del 2013 a abril del 2014.

La recolección de la especie *Schoenoplectus californicus* se realizó en las riveras del lago Titicaca del departamento de Puno.

La determinación de arsénico en agua se realizó por el Método Gutzeit, el cual se realizó en el Laboratorio de la Escuela de Farmacia y Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

La determinación del pH, conductividad y preparación de la solución patrón de arsénico se realizó en el laboratorio de química analítica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

3.3. UNIDAD DE ESTUDIO

- ✓ Cubetas de agua con diferentes concentraciones de arsénico (0.05mg/L, 0.1mg/L, 0.5mg/L y 1mg/L).
- ✓ Plantas jóvenes de *Schoenoplectus californicus*.

3.4. MATERIAL DE LABORATORIO

3.4.1. MATERIAL BIOLÓGICO

- ✓ Agua
- ✓ *Schoenoplectus californicus*

3.4.2. REACTIVOS

- ✓ Trióxido de arsénico (As_2O_3) art. 119, Merck
- ✓ Hidróxido de sodio (NaOH), Merck
- ✓ Agua destilada (160 litros)
- ✓ Reactivo As-1, Merck
- ✓ Reactivo As-2 (ácido malónico), Merck
- ✓ Reactivo As-3 (zinc en polvo), Merck
- ✓ Tiras de ensayo con bromuro de mercurio, Merck
- ✓ Micronutriente esencial para plantas acuáticas, HAGEN

3.4.3. MATERIAL DE VIDRIO O PLÁSTICO

- ✓ Vaso precipitado de 50ml, 100ml, 500ml, 2litros
- ✓ Probetas de 100 ml y 1 litro
- ✓ Pipetas de 1ml y 5ml
- ✓ Varillas
- ✓ Bombilla

- ✓ 2 frascos de reacción con tapa roscada
- ✓ 1 cuchara dosificadora verde
- ✓ 1 cuchara dosificadora roja
- ✓ 100 tiras de ensayo
- ✓ 24 cubetas de plástico de 10 litros
- ✓ Tubos de ensayo
- ✓ Gradillas
- ✓ Espátulas
- ✓ Fiola de 50ml
- ✓ Crisol de vidrio
- ✓ Piseta

3.4.4. EQUIPOS

- ✓ Potenciómetro, marca *HANNA INSTRUMENTS*
- ✓ Conductímetro, marca *RADELKIS BUDAPEST*
- ✓ Balanza analítica, marca *SARTORIUS*
- ✓ Kit de test de arsénico *MQUANT™* intervalo de medida (0.005-0.010-0.025-0.05-0.10-0.25-0.50 mg/L de As), marca *Merck*.
- ✓ Destilador
- ✓ Termómetro

3.4.5. OTROS MATERIALES

- ✓ Arena de río (72 kilos)
- ✓ Plumón marcador
- ✓ Cinta adhesiva
- ✓ Etiquetas
- ✓ Mascarillas protectoras
- ✓ Guantes descartables
- ✓ Alcohol de 96° (01 litro)
- ✓ Papel bond 60
- ✓ Detergente
- ✓ Jabón
- ✓ Campos de tela
- ✓ Baldes
- ✓ Bolsas
- ✓ Tijeras

3.5. METODOLOGÍA

3.5.1. *Schoenoplectus californicus* “junco”

3.5.1.1. RECOLECCIÓN DE LA ESPECIE

Fue de las riveras del lago Titicaca durante el mes de enero del 2014, donde se recolecto especies jóvenes de *Schoenoplectus californicus* (raíz y tallo) obteniéndose un total de 1230 unidades, verificando que no se encuentren deterioradas (figura N°10, Anexo N°1).

3.5.1.2. SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIE

Las especies fueron lavadas y transportadas en bolsas plásticas al laboratorio 101-A de la escuela de Farmacia y Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, de las cuales solo fueron seleccionadas 740 especies para la experimentación (Figura N°11, Anexo N°1), teniendo en cuenta para esta selección las siguientes condiciones:

- ✓ Buena pigmentación.
- ✓ Sin anomalía en sus partes (tallo y raíz).
- ✓ Especies jóvenes con altura de 90cm.
- ✓ Buen espesor radicular.

La identificación taxonómica del *Schoenoplectus californicus* “junco” se realizó con la asistencia de la Dra. Rosario Zegarra Zegarra docente de la Escuela de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (Anexo N°2).

3.5.2. PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA

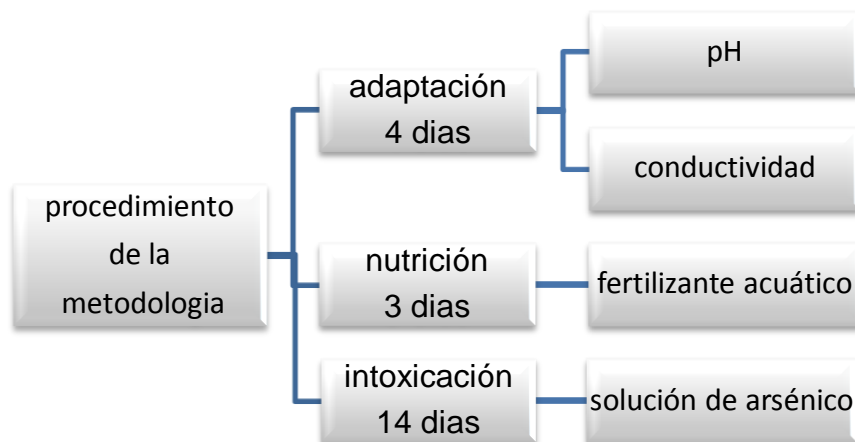
La experimentación se desarrolló en un ambiente con ventilación adecuada y entrada de rayos solares a condiciones ambientales de la ciudad de Tacna.

- ✓ Temperatura máxima de 24°C
- ✓ Temperatura mínima de 16°C
- ✓ Humedad de 76%

Se adecuaron 24 recipientes circulares con volumen de 10 litros, de 28 cm de alto y 25 cm de diámetro.

La experimentación se realizó en tres fases; adaptación, nutrición e intoxicación, durante un periodo de 21 días, como se ilustra.

FIGURA N° 7: Fases de la metodología



Fuente: Elaboración Propia del investigador

3.5.2.1. FASE DE ADAPTACIÓN

Esta fase duro 4 días. Después de la selección de las especies, se colocó 3 kilos de arena de río lavada, 37 unidades de plantas jóvenes de *Schoenoplectus californicus* “junco” y 6 litros de agua destilada en cada recipiente en fase inmóvil (Figura N°12, Anexo N°1), donde se formaron 4 grupos experimentales con 4 repeticiones, manteniéndose por

cada grupo experimental un grupo control y un grupo testigo, según se observa en el cuadro N°7.

CUADRO N°7: Fase de adaptación

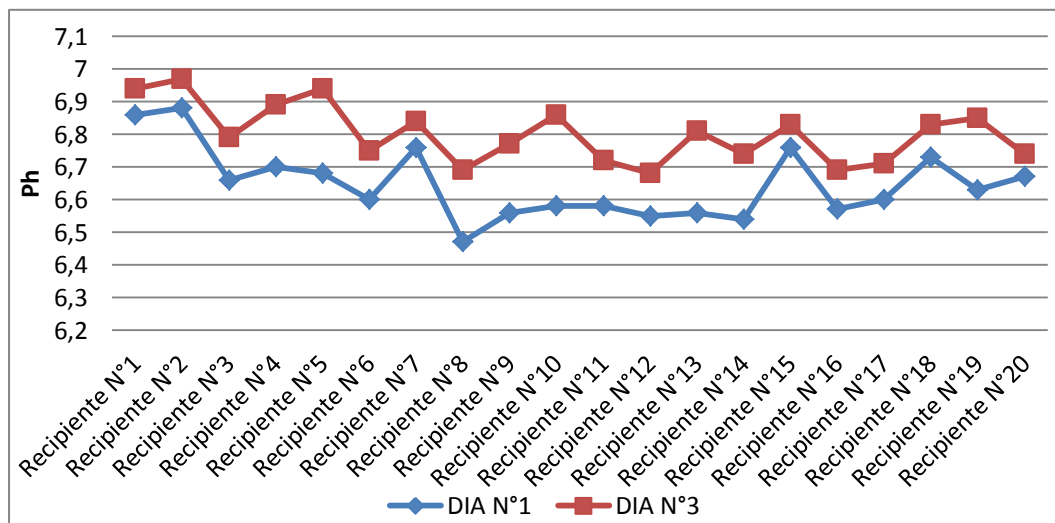
GRUPO	REPETICIONES	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Agua	Arena de río
Experimental N°1	Repetición N°1	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°2	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°3	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°4	37 unidades	6 litros	3 kilos
Control N°1		---	6 litros	3 kilos
Testigo N°1		37 unidades	6 litros	3 kilos
Experimental N°2	Repetición N°1	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°2	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°3	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°4	37 unidades	6 litros	3 kilos
Control N°2		---	6 litros	3 kilos
Testigo N°2		37 unidades	6 litros	3 kilos
Experimental N°3	Repetición N°1	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°2	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°3	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°4	37 unidades	6 litros	3 kilos
Control N°3		---	6 litros	3 kilos
Testigo N°3		37 unidades	6 litros	3 kilos
Experimental N°4	Repetición N°1	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°2	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°3	37 unidades	6 litros	3 kilos
	Repetición N°4	37 unidades	6 litros	3 kilos
Control N°4		---	6 litros	3 kilos
Testigo N°4		37 unidades	6 litros	3 kilos

Fuente: elaboración propia del investigador

Durante esta fase se controló de manera interdiaria la variación de pH y de conductividad para determinar un medio óptimo para el desarrollo de las plantas (Figura N°13, Anexo N°1 y N°3).

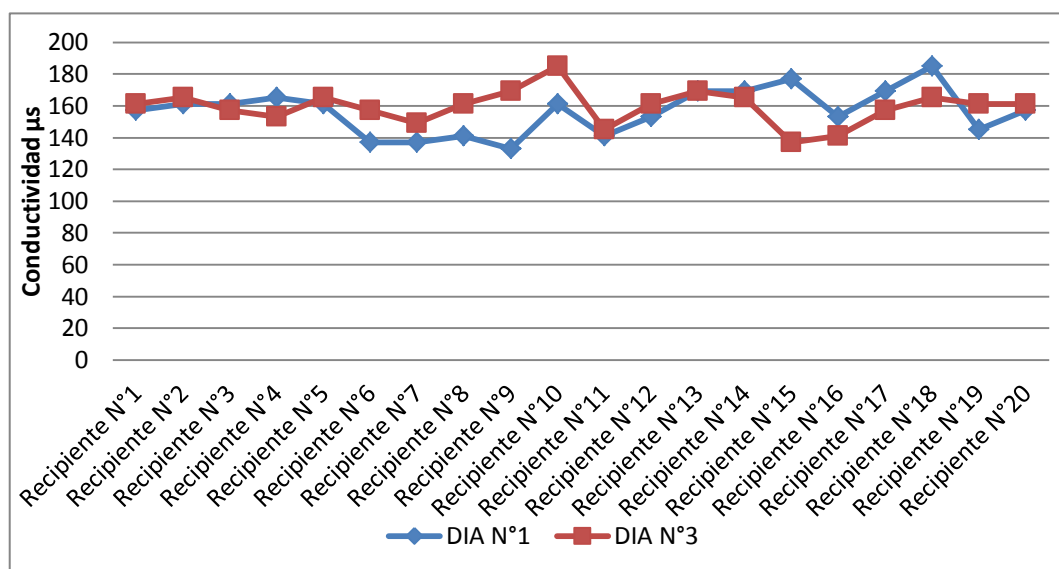
Durante los primeros días se mantuvo el pH en un rango de 6,47 – 6,97 y la conductividad entre 132,81 us – 185,14 us (figura N°8 y figura N°9), lo cual indica que las especies vegetales están en un medio óptimo para su normal desarrollo.

FIGURA N° 8: Variación de pH



Fuente: Elaboración Propia del investigador

FIGURA N° 9: Variación de conductividad



Fuente: Elaboración Propia del investigador

La determinación de la conductividad se realiza mediante fórmula tomando en cuenta el factor de corrección de la temperatura (0,971) y el factor de corrección de la máquina (0,829). (Anexo N°3)

$$\text{Conductividad} = \text{Factor temperatura} \times \text{Factor máquina} \times \text{valor determinado}$$

3.5.2.2. FASE DE NUTRICIÓN

Esta duró 3 días. Pasado los 4 días de adaptación se colocó el micronutriente HAGENN para plantas acuáticas a los recipientes que contenían el agua con plantas estimulando su crecimiento.

Según recomendación del fabricante, indica que por cada 38 litros de agua se agrega 5ml de micronutriente, por lo tanto a cada recipiente de 6 litros de agua se agregó 0,8 ml de micronutriente. (Figura N°14, Anexo N°1).

El micronutriente para plantas acuáticas contenía los siguientes nutrientes:

Nitrógeno total.....	0.15%
Boro (B).....	0.0005%
Cobre (Cu).....	0.0005%
Hierro (Fe).....	0.026%
Manganeso (Mn).....	0.05%
Molibdato (Mo).....	0.0007%
Zinc (Zn).....	0.003%
Tiamina HCl (vitamina B ₁).....	0.020%

3.5.2.3. FASE DE INTOXICACIÓN

Duro 14 días. Pasado los 7 días entre adaptación y nutrición se procedió a la intoxicación con la solución patrón arsénico a diferente concentración en cada uno

de los recipientes, como se indica en el cuadro N°8.

(Figura N°16, Anexo N°1).

CUADRO N°8: Fase de intoxicación

GRUPO	REPETICIONES	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Agua	As
Experimental N°1	Repetición N°1	37 unidades	6 litros	0.05mg/L
	Repetición N°2	37 unidades	6 litros	0.05mg/L
	Repetición N°3	37 unidades	6 litros	0.05mg/L
	Repetición N°4	37 unidades	6 litros	0.05mg/L
Control N°1		---	6 litros	0.05mg/L
Testigo N°1		37 unidades	6 litros	---
Experimental N°2	Repetición N°1	37 unidades	6 litros	0.1mg/L
	Repetición N°2	37 unidades	6 litros	0.1mg/L
	Repetición N°3	37 unidades	6 litros	0.1mg/L
	Repetición N°4	37 unidades	6 litros	0.1mg/L
Control N°2		---	6 litros	0.1mg/L
Testigo N°2		37 unidades	6 litros	---
Experimental N°3	Repetición N°1	37 unidades	6 litros	0.5mg/L
	Repetición N°2	37 unidades	6 litros	0.5mg/L
	Repetición N°3	37 unidades	6 litros	0.5mg/L
	Repetición N°4	37 unidades	6 litros	0.5mg/L
Control N°3		---	6 litros	0.5mg/L
Testigo N°3		37 unidades	6 litros	---
Experimental N°4	Repetición N°1	37 unidades	6 litros	1mg/L
	Repetición N°2	37 unidades	6 litros	1mg/L
	Repetición N°3	37 unidades	6 litros	1mg/L
	Repetición N°4	37 unidades	6 litros	1mg/L
Control N°4		---	6 litros	1mg/L
Testigo N°4		37 unidades	6 litros	---

Fuente: elaboración propia del investigador

3.5.2.3.1. SOLUCIÓN PATRÓN DE ARSÉNICO (1mg/ml)

Se obtuvo a partir del trióxido de arsénico.

3.5.2.3.1.1. CÁLCULO

Se preparó 50 ml de solución patrón de arsénico a una concentración de 1mg/ml, de la siguiente manera:

Formula: As_2O_3

Peso molecular: 197,8414

ELEMENTO	PESO ATÓMICO	TOTAL
ARSÉNICO	74,9216	149,8432
OXÍGENO	15,9994	47,9982

Pureza comercial: 99,5%

✓ Procedemos a calcular para una concentración de 1mg de arsénico:

197,84mg As_2O_3 149,84mg de As

X=.....1mg de As

X = 1,3203mg As_2O_3

✓ Ahora calculamos para un volumen de 50ml:

1, 3203 mg As_2O_3 1ml

y=..... 50ml

y = 66,015mg

✓ Calculamos la concentración necesaria según la pureza comercial del arsénico:

$$\frac{66,015 \text{ mg } \text{As}_2\text{O}_3}{99,5\% \text{ As}_2\text{O}_3} \times \frac{100\text{mg } \text{As}_2\text{O}_3 \text{ comercial}}{99,5\% \text{ As}_2\text{O}_3} = 66,3467\text{mg } \text{As}_2\text{O}_3$$

✓ Por lo tanto se pesó 66,3467 mg de trióxido de arsénico para preparar 50 ml de solución, para un título de 1mg/ml de solución patrón de arsénico.

3.5.2.3.1.2. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN PATRÓN DE ARSÉNICO

Pesar en la balanza analítica 66,3467mg de As_2O_3 (Merck) resultante del cálculo mencionado anteriormente, enseguida agregar hidróxido de sodio (NaOH al 10N)

hasta disolver completamente, finalmente se enraso en una fiola de 50ml con agua destilada, conforme a normas APHA, 1993. (Figura N°15, Anexo N°1).

3.5.3. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA

3.5.3.1. MÉTODO DE GUTZEIT

Por adición de zinc en polvo, de un ácido sólido y para eliminación de iones sulfuro interferentes de un oxidante a los compuestos de As^{+3} y As^{+5} se libera hidruro de arsénico, que con bromuro de mercurio (II) contenido en la zona de reacción de la tira de ensayo forma halogenuros pardoamarillos mixtos de arsénico y mercurio. La concentración de As^{+3} y As^{+5} se determina semicuantitativamente por comparación visual de la zona de reacción de la tira de ensayo con las zonas de una escala colorimétrica.

3.5.3.2. TÉCNICA DE MEDICIÓN

Se recolecto la muestra de agua contaminada con arsénico de cada uno de los recipientes en diferentes tiempos (0 horas, 1 día, 4 días, 8 días ,14 días) después de la intoxicación. (Figura N°17, Anexo N°1).

- ✓ Tomar 60ml de la muestra preparada y llenar el frasco de reacción hasta la señal de enrase.
- ✓ Añadir 2 gotas del reactivo As-1 y agitar ligeramente.
- ✓ Añadir 1 cucharada dosificadora roja rasa de reactivo As-2 y agitar ligeramente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente.
- ✓ Añadir 1 cucharada dosificadora verde rasa de reactivo As-3 y cerrar inmediatamente el frasco de reacción con la tapa roscada.
- ✓ Desplegar hacia arriba el fijador de tiras negro integrado en la tapa roscada de manera que el punto blanco señale hacia el usuario, introducir inmediatamente en la abertura la tira de ensayo con la zona de reacción delante hasta la raya de

marcado y plegar de nuevo el fijador de tiras totalmente hacia abajo.

- ✓ Dejar en reposo 20 minutos, agitando ligeramente dos o tres veces en forma circular. ¡evitar el contacto entre la tira de ensayo y la solución!
- ✓ Sacar la tira, sumergida brevemente en agua destilada, sacudirla para eliminar el exceso de líquido, y clasificar el color de la zona de reacción de la mejor manera posible de acuerdo con una zona de color de la etiqueta.
- ✓ Leer el correspondiente valor de medición en mg/L de As

NOTAS

- ✓ Mantener el frasco verticalmente durante la adición del reactivo.
- ✓ Después de transcurrido el tiempo de reacción indicado, la zona de reacción puede continuar cambiando de color. Esto no debe ser tenido en cuenta en la medición.
- ✓ Si el color de la zona de reacción corresponde a la tonalidad más oscura de la escala

colorimétrica o es más intenso, debe repetirse la medición con nuevas muestras diluidas, hasta que se obtenga un valor inferior a 0,50mg/L de As.

- ✓ En el resultado del análisis debe considerarse correspondientemente la dilución.

3.5.4. EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL *schoenoplectus californicus* “junco”

Pasado los 21 días entre adaptación, nutrición e intoxicación, se evalúa los cambios que ocurren en la raíz de *Schoenoplectus californicus* “junco” por efecto del arsénico, para ello se tomó como referencia la escala de Likert. (Cuadro N°9, Anexo 4), (Figura N°18, Anexo N°1).

3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Se procesaron los datos obtenidos de los experimentos usando medios informáticos:

- ✓ Excel, aplicación de Microsoft Office 2010, para el ordenamiento de los datos obtenidos.
- ✓ El soporte informático Statistical Product and Service Solutions (SPSS) 18° Edición.

3.6.2. ANÁLISIS DE DATOS

Se utilizaron técnicas y medidas de la estadística descriptiva e inferencial.

- ✓ **Estadística inferencial:**

ANOVA. Análisis de la varianza; Aplicado para analizar la diferencia de medias de concentraciones de arsénico en agua según el tiempo

Contraste de hipótesis. También denominado test de hipótesis o prueba de significación, es un procedimiento para juzgar si una propiedad que se supone en una

población estadística es compatible con lo observado en una muestra de dicha población.

✓ **Estadística descriptiva:**

Tablas de frecuencia, estas tablas sirvieron para la presentación de los datos procesados y ordenados según sus categorías, niveles o clases correspondientes.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Los resultados obtenidos han sido distribuidos en tablas y gráficos estadísticos para su mejor comprensión:

TABLA N°1

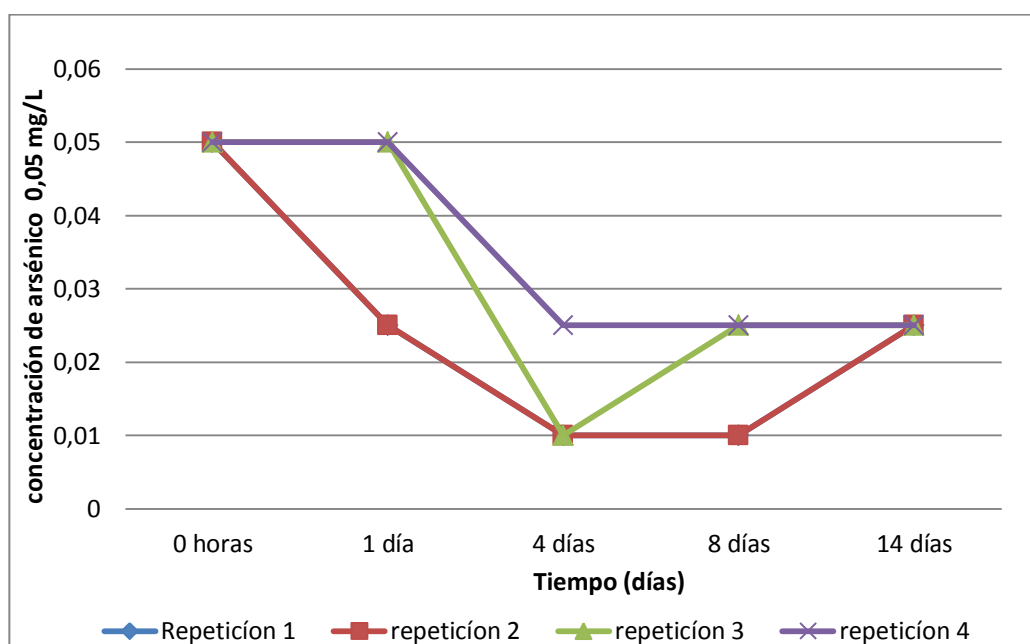
DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

GRUPO	REPETICIONES	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO mg/L				
		0 horas	1 día	4 días	8 días	14 días
Experimental N°1 planta+agua+As (0.05mg/L)	Repetición N°1	0.05	0.025	0.01	0.01	0.025
	Repetición N°2	0.05	0.025	0.01	0.01	0.025
	Repetición N°3	0.05	0.05	0.01	0.025	0.025
	Repetición N°4	0.05	0.05	0.025	0.025	0.025
Control N°1 agua+As (0.05mg/L)		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Experimental N°2 planta+agua+As (0.1mg/L)	Repetición N°1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
	Repetición N°2	0.1	0.05	0.025	0.05	0.05
	Repetición N°3	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1
	Repetición N°4	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1
Control N°2 agua+As (0.1mg/L)		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Experimental N°3 planta+agua+As (0.5mg/L)	Repetición N°1	0.5	0.25	0.1	0.25	0.25
	Repetición N°2	0.5	0.5	0.1	0.25	0.25
	Repetición N°3	0.5	0.25	0.25	0.1	0.1
	Repetición N°4	0.5	0.25	0.25	0.1	0.25
Control N°3 agua+As (0.5mg/L)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Experimental N°4 planta+agua+As (1mg/L)	Repetición N°1	1	0.5	0.25	0.25	0.25
	Repetición N°2	1	0.5	0.25	0.1	0.25
	Repetición N°3	1	0.5	0.25	0.25	0.25
	Repetición N°4	1	0.25	0.25	0.25	0.25
Control N°4 agua+As (1mg/L)		1	1	1	1	1

: Fuente: Elaboración propia del investigador

GRÁFICO N°1

DISTRIBUCIÓN DE REPETICIONES DEL GRUPO EXPERIMENTAL N°1 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

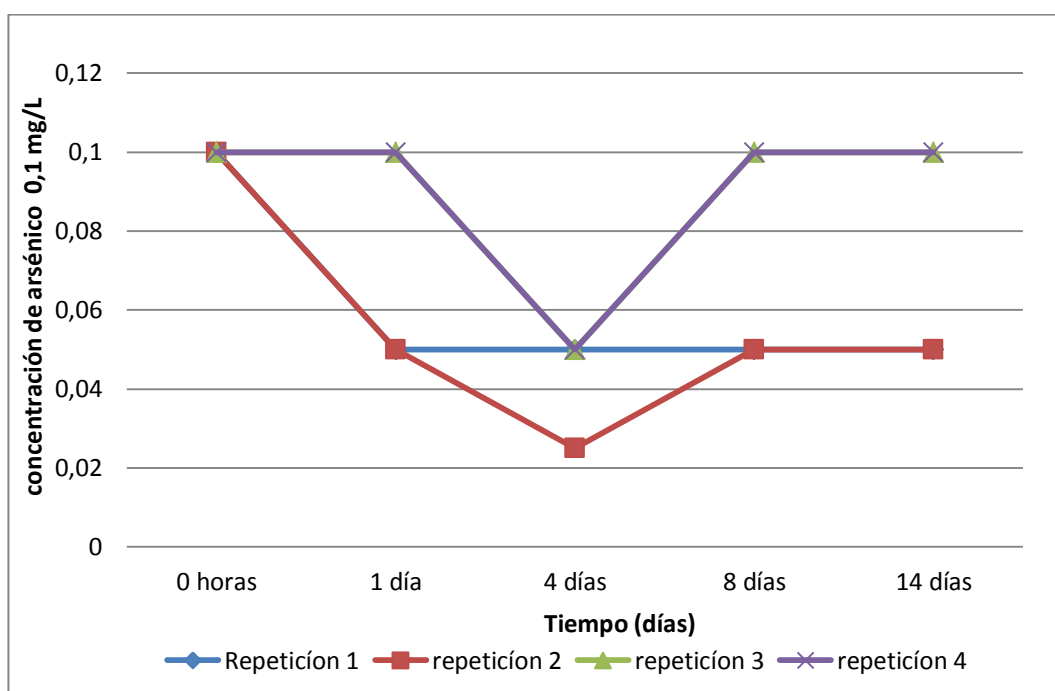


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución de las repeticiones del grupo experimental N°1 (planta+agua+As “0.05mg/L”). Las repeticiones 1, 2, 3 y 4 se inician con una concentración de 0,05mg/L; descendiendo todas las repeticiones al cuarto día; luego la repetición 1, 2 y 4 se mantiene constante y la repetición 3 tiende a aumentar hasta el octavo día; mientras que la repetición 1 y 2 aumenta, y la repetición 3 y 4 se mantiene constante hasta el día 14.

GRÁFICO N°2

DISTRIBUCIÓN DE REPETICIONES DEL GRUPO EXPERIMENTAL N°2 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

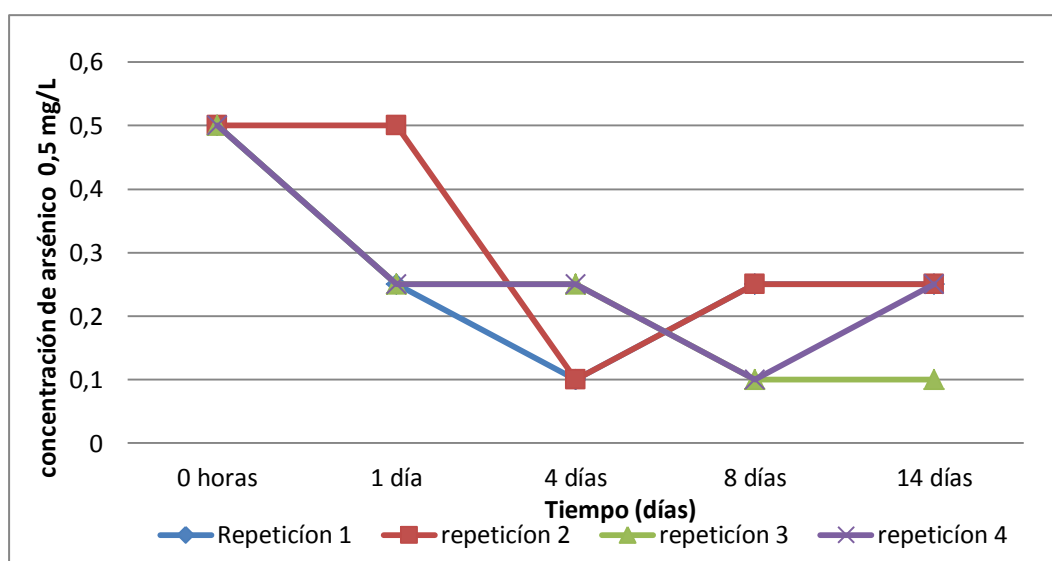


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución de las repeticiones del grupo experimental N°2 (planta+agua+As “0.1mg/L”). Las repeticiones 2, 3 y 4 decrecen hasta el cuarto día, aumentan al octavo día y se mantienen constantes hasta el día 14; mientras que la repetición 1 decrece al primer día y tiende a mantenerse constante hasta el día 14.

GRÁFICO N°3

DISTRIBUCIÓN DE REPETICIONES DEL GRUPO EXPERIMENTAL N°3 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

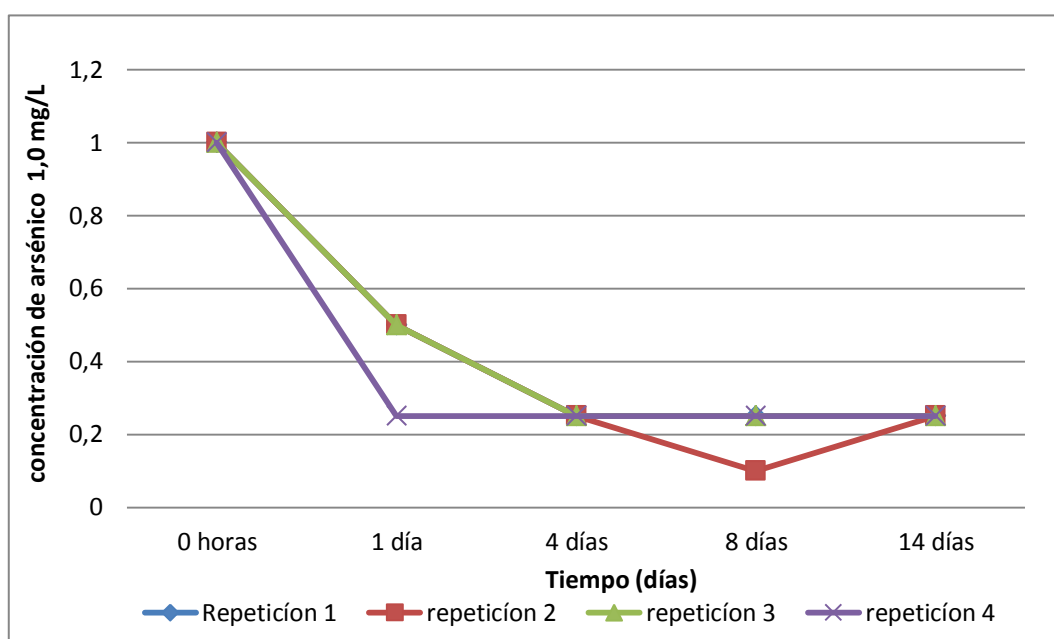


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución de las repeticiones del grupo experimental N°3 (planta+agua+As "0.5mg/L"). Las repeticiones 1 y 2 descienden al cuarto día, luego tienden a aumentar al octavo día, manteniéndose la concentración constante hasta el día 14. Mientras que la repeticion 3 y 4 decrece la concentración el primer día, la cual se mantienen constantes hasta el cuarto día para luego decrecer el octavo día; la repeticion 3 se mantiene constante y la repeticion 4 aumenta hasta el día 14. Se debe indicar las subas de concentración obtenidos no superan el 50% de la concentración basal.

GRÁFICO N°4

DISTRIBUCIÓN DE REPETICIONES DEL GRUPO EXPERIMENTAL N°4 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

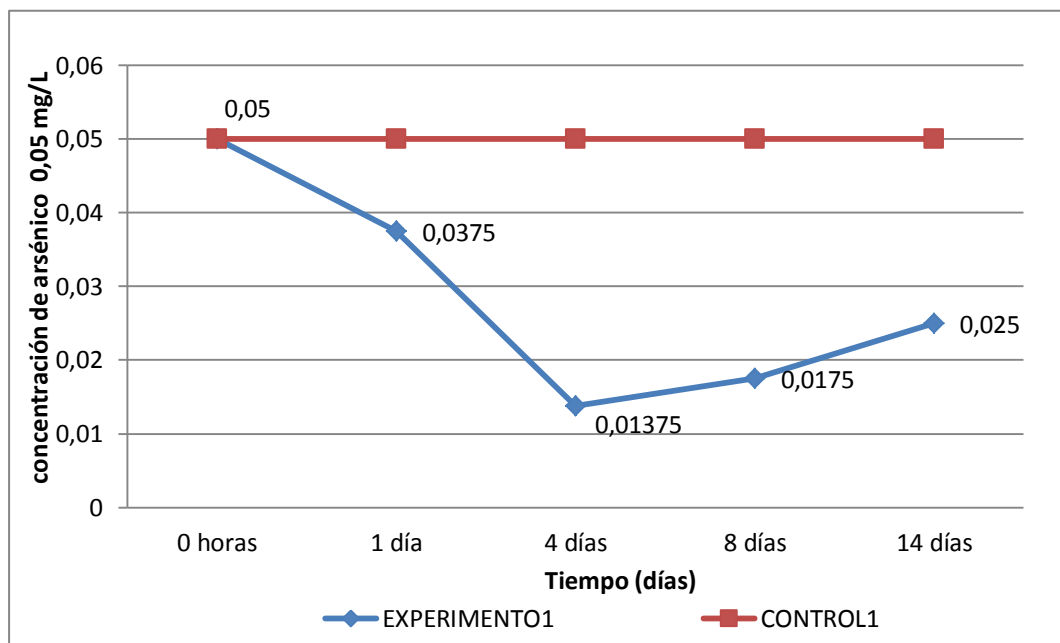


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución de las repeticiones del grupo experimental N°4 (planta+agua+As “1mg/L”). En las repeticiones 1, 2, 3 y 4 se observa un descenso de la concentración de As, siendo aún mayor en la repetición 2 que desciende hasta el octavo día. Mientras que la repetición 1, 3 y 4 llegan a su máximo descenso al cuarto día de experimentación. Al final las concentraciones encontradas son iguales en todas las repeticiones.

GRÁFICO N°5

DISTRIBUCIÓN DE PROMEDIOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL N°1 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

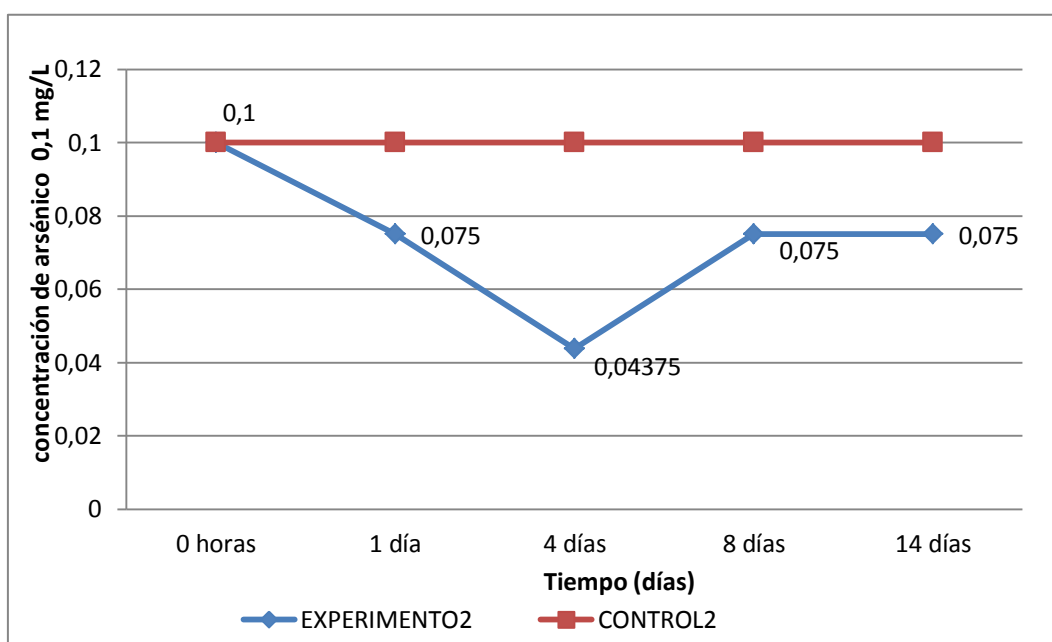


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución de promedios del grupo experimental N°1 (planta+agua+As “0,05mg/L”). En el primer día del trabajo se obtiene una concentración menor de 0,0375mg/L y a medida que transcurren los días se obtiene la concentración más baja al cuarto día (0,01375mg/L), después de este día se da un incremento en la concentración de As llegando a 0,0175mg/L al octavo día y 0.025 mg/L al día 14.

GRÁFICO N°6

DISTRIBUCIÓN DE PROMEDIOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL N°2 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

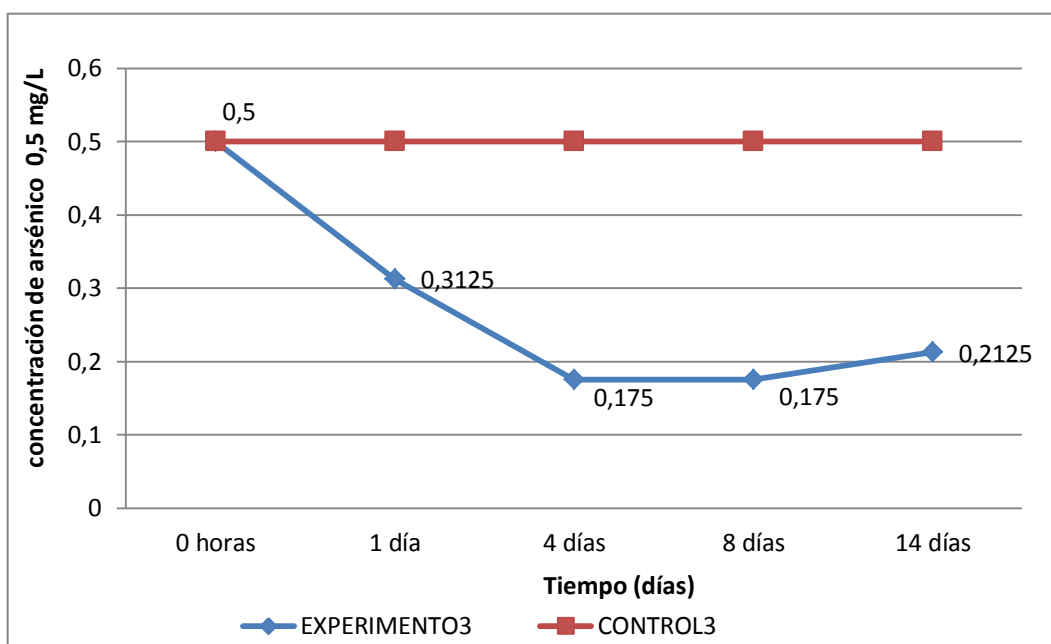


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución de promedios del grupo experimental N°2 (planta+agua+As “0,1mg/L”). En el primer día del experimento disminuye la concentración de As a 0,075 mg/L, descendiendo aún más al cuarto día (0,04375 mg/L), luego se observa un ascenso al octavo día (0,075 mg/L) manteniéndose constante hasta los 14 días en 0,075mg/L.

GRÁFICO N°7

DISTRIBUCIÓN DE PROMEDIOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL N°3 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

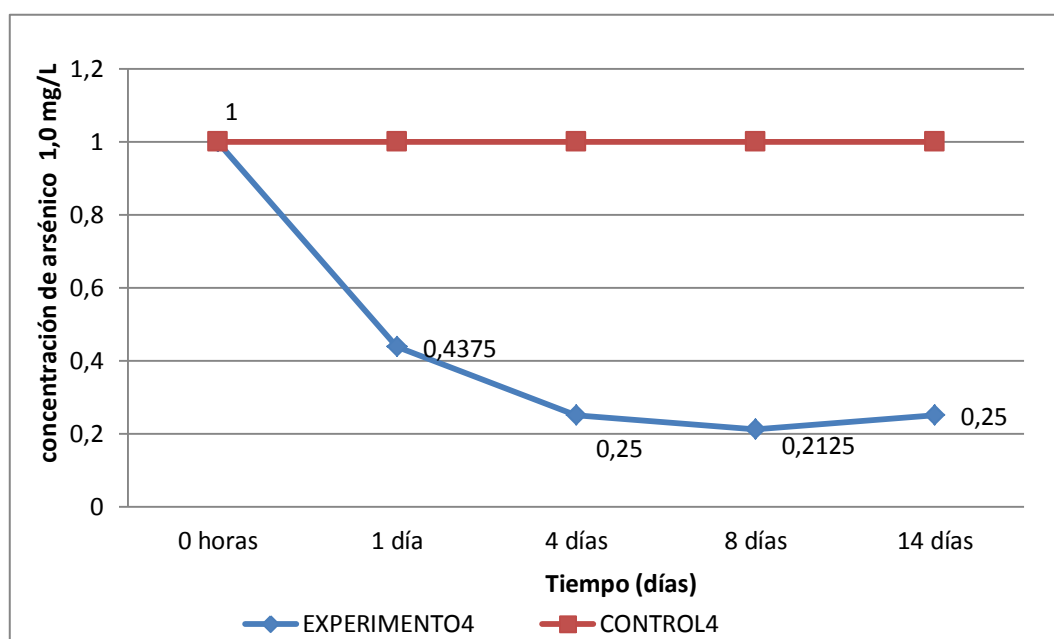


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución de promedios del grupo experimental N°3 (planta+agua+As “0,5mg/L”). En el primer día del experimento disminuye la concentración de As a 0,3125 mg/L, descendiendo aún más a 0,175 mg/L al cuarto día, se mantiene constante al octavo día (0,175mg/L) y llegando a ascender máximo a 0,2125 mg/L a los 14 días, que no llega al 50% de la concentración basal.

GRÁFICO N°8

DISTRIBUCIÓN DE PROMEDIOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL N°4 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

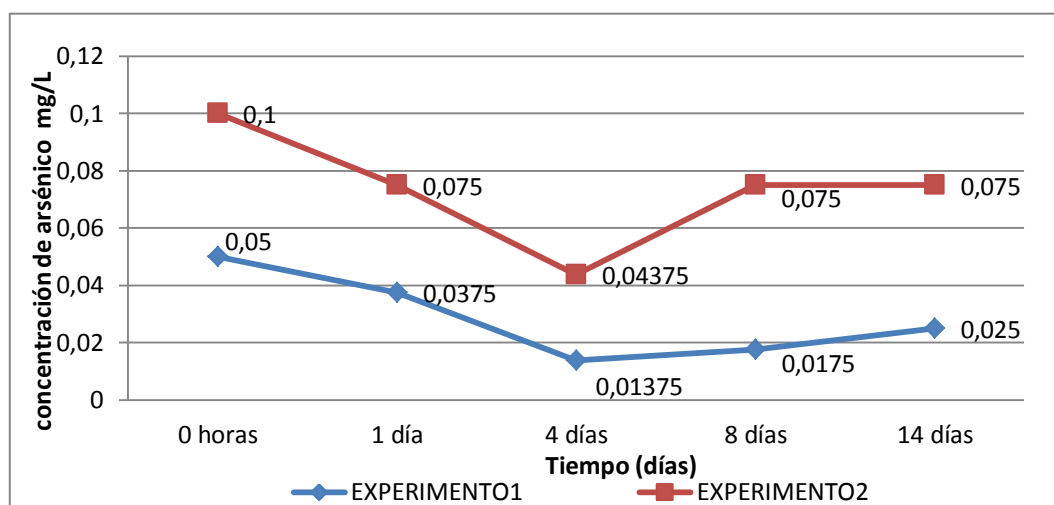


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución de promedios del grupo experimental N°4 (planta+agua+As “1mg/L”). En el primer día del experimento disminuye la concentración (0,4375 mg/L), descendiendo aún más al cuarto día (0,25 mg/L), la cual sigue descendiendo llegando a la más baja concentración al octavo día en 0,2125mg/L, para luego sufrir un pequeño incremento en 0,25mg/L a los 14 días que no pasan el 25% de la concentración inicial o basal.

GRÁFICO N°9

DISTRIBUCIÓN DE LA COMPARACIÓN DE GRUPOS EXPERIMENTALES N°1 y N°2 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

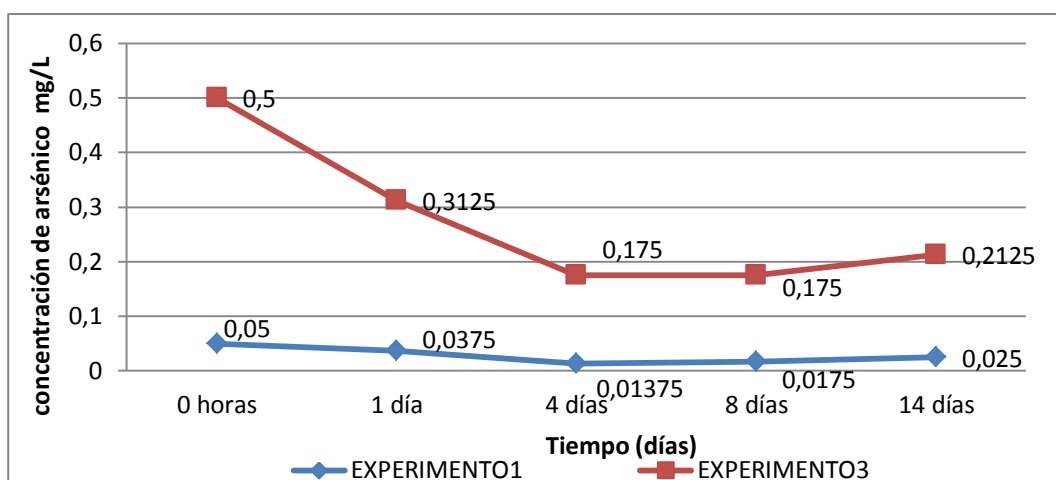


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución por tiempo según promedios en concentración de arsénico, empezando desde 0,1 mg/L de arsénico (experimento N°2), donde el primer día disminuye en promedio a 0,075 mg/L, descendiendo aún más al cuarto día a 0,04375 mg/L llegando a ascender al octavo día en 0,075 mg/L y mantenerse constante hasta los 14 días en 0,075mg/L. Mientras que a la concentración de 0,05 mg/L de arsénico (experimento N°1), donde al primer día disminuye a 0,0375 mg/L, descendiendo aún más al cuarto día a 0,01375 mg/L, empezando a ascender al octavo día a 0,0175 mg/L, llegando finalmente a los 14 días a 0.025 mg/L. Observándose además en ambos grupos un comportamiento similar hasta el octavo día.

GRÁFICO N°10

DISTRIBUCIÓN DE LA COMPARACIÓN DE GRUPOS EXPERIMENTALES N°1 y N°3 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

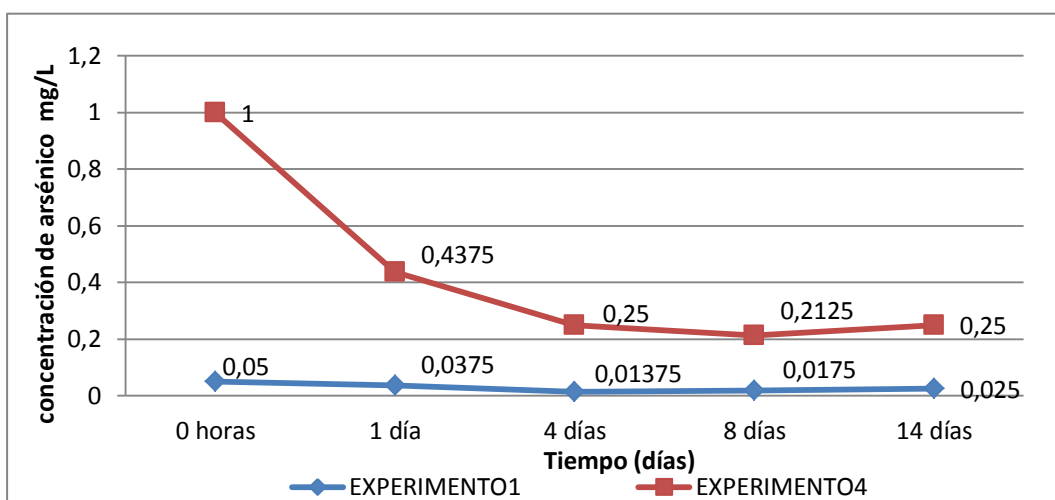


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución por tiempo según promedios en concentración de arsénico, empezando desde 0,5 mg/L de arsénico (experimento N°3), donde el primer día disminuye a 0,3125 mg/L, descendiendo aún más al cuarto día a 0,175 mg/L, se mantiene constante al octavo día en 0,175 mg/L y llegando a ascender a 0,2125 mg/L a los 14 días. Mientras que a la concentración de 0,05 mg/L de arsénico (experimento N°1), donde al primer día disminuye a 0,0375 mg/L, descendiendo aún más al cuarto día a 0,01375 mg/L, empezando a ascender al octavo día a 0,0175 mg/L, llegando finalmente a los 14 días a 0,025 mg/L. Observándose un comportamiento similar en ambos grupos comparados hasta los 14 días, pero la diferencia está en el grupo N°3 donde es más pronunciado el descenso.

GRÁFICO N°11

DISTRIBUCIÓN DE LA COMPARACIÓN DE GRUPOS EXPERIMENTALES N°1 y N°4 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

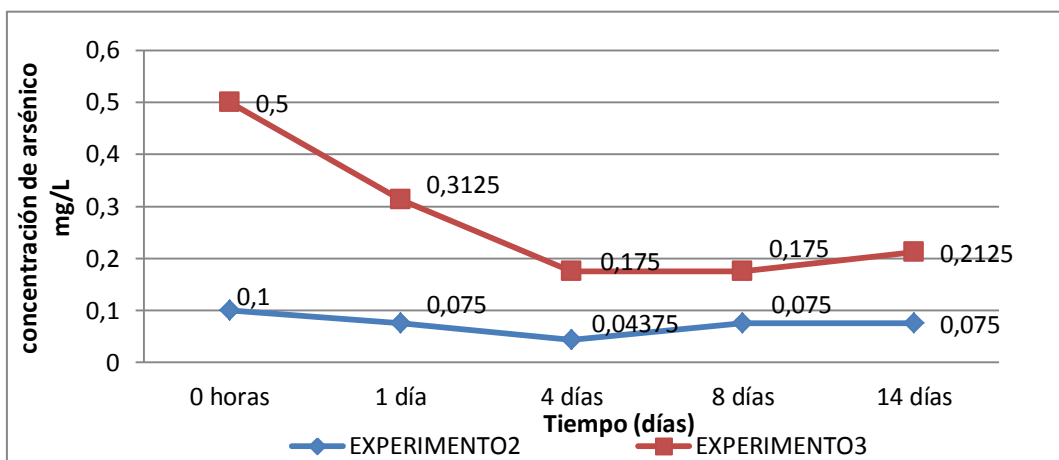


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución por tiempo según promedios en concentración de arsénico, empezando desde 1 mg/L de arsénico (experimento N°4), donde al primer día disminuye en promedio a 0,4375 mg/L, descendiendo aún más al cuarto y octavo día en 0,25 mg/L y 0,2125 mg/L respectivamente, finalmente llegando ascender a 0,25 mg/L a los 14 días. Mientras que con 0,05 mg/L de arsénico (experimento N°1), el primer día disminuye (0,0375 mg/L), descendiendo aún más al cuarto día (0,01375 mg/L), empezando a ascender al octavo día (0,0175 mg/L), llegando finalmente a los 14 días a 0,025 mg/L. Observándose que ambos grupos presentan comportamiento similar siendo más pronunciado en el grupo N°4.

GRÁFICO N°12

DISTRIBUCIÓN DE LA COMPARACIÓN DE GRUPOS EXPERIMENTALES N°2 y N°3 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

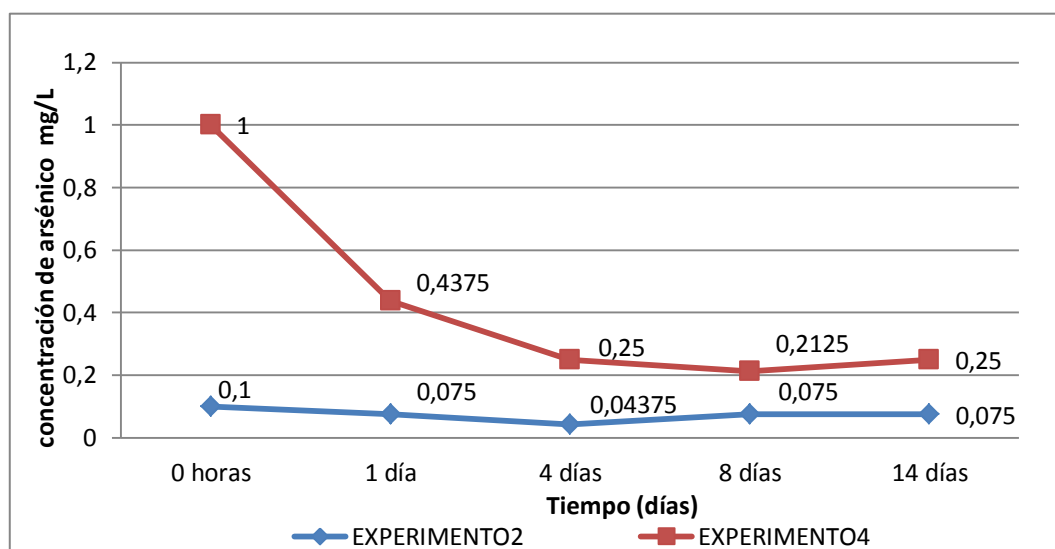


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución por tiempo según promedios en concentración de arsénico, empezando desde 0,5 mg/L de arsénico (experimento N°3), donde el primer día disminuye en promedio a 0,3125 mg/L, descendiendo aún más al cuarto día (0,175 mg/L) y llegando a mantenerse en 0,175 mg/L al octavo día. Finalmente obtenemos una concentración de 0,2125 mg/L a los 14 días, mientras que a 0,1 mg/L de arsénico (experimento N°2), el primer día disminuye en promedio a 0,075 mg/L, descendiendo aún más al cuarto día (0,04375 mg/L), llegando a ascender al octavo día (0,075 mg/L) y mantenerse constante hasta los 14 días en 0,075 mg/L. Ambos comportamientos son similares hasta el cuarto día, pero después tienen un comportamiento algo variado entre el cuarto y octavo día. El descenso en la concentración es más notoria en el grupo experimental N°3.

GRÁFICO N°13

DISTRIBUCIÓN DE LA COMPARACIÓN DE GRUPOS EXPERIMENTALES N°2 y N°4 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

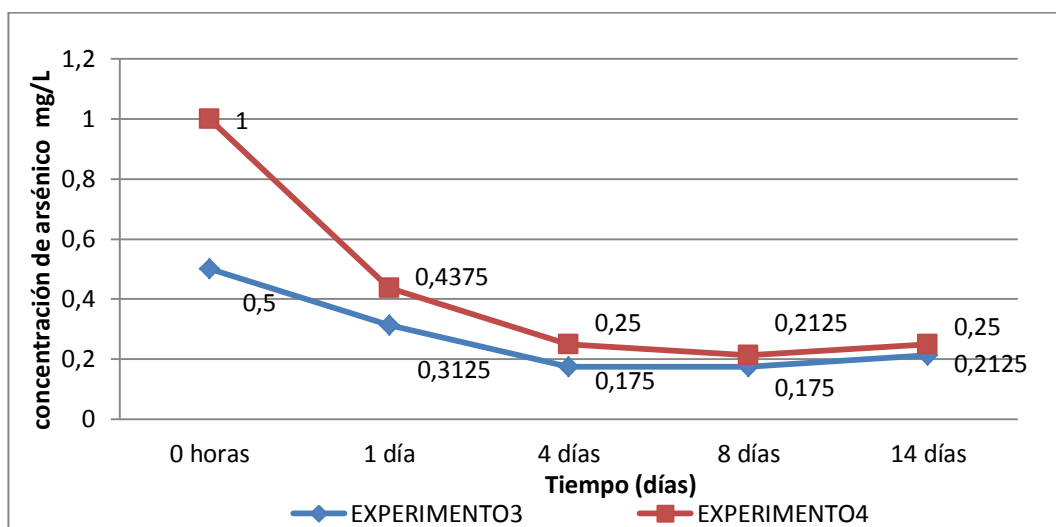


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución por tiempo según promedios en concentración de arsénico, empezando desde 1 mg/L de arsénico (experimento N°4), donde el primer día disminuye en promedio a 0,4375 mg/L, descendiendo aún más al cuarto y octavo día en 0,25 mg/L y 0,2125 mg/L respectivamente, finalmente llegando ascender a 0,25 mg/L a los 14 días. Mientras que a 0,1 mg/L de arsénico (experimento N°2), donde al primer día disminuye en promedio a 0,075 mg/L, descendiendo aún más al cuarto día a 0,04375 mg/L, llegando a ascender al octavo día en 0,075 mg/L y mantenerse constante hasta los 14 días en 0,075 mg/L. El efecto se observa mejor en el grupo experimental N°4.

GRÁFICO N°14

DISTRIBUCIÓN DE LA COMPARACIÓN DE GRUPOS EXPERIMENTALES N°3 y N°4 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO

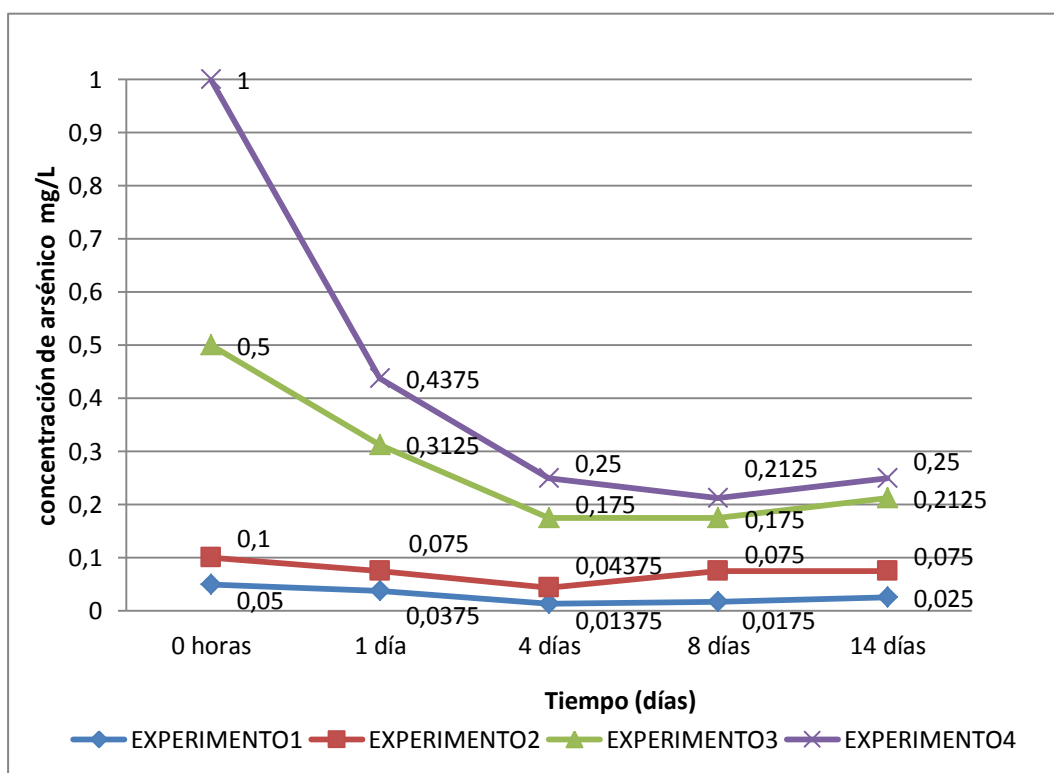


Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución por tiempo según promedios en concentración de arsénico, empezando desde 1 mg/L de arsénico (experimento N°4), donde al primer día disminuye en promedio a 0,4375 mg/L, descendiendo aún más al cuarto y octavo día en 0,25 mg/L y 0,2125 mg/L respectivamente, finalmente llegando ascender a 0,25 mg/L a los 14 días. Mientras que a 0,5 mg/L de arsénico (experimento N°3), donde al primer día disminuye en promedio a 0,3125 mg/L, descendiendo aún más al cuarto día (0,175 mg/L) llegando a mantenerse a 0,175 mg/L al octavo día, para llegar finalmente a 0.2125 mg/L a los 14 días. Se observa el efecto más pronunciado en el experimento N°4.

GRÁFICO N°15

DISTRIBUCIÓN DE LA COMPARACIÓN DE GRUPOS EXPERIMENTALES N°1, N°2, N°3 y N°4 SEGÚN TIEMPO Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO



Fuente: Elaboración propia del investigador

INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA: En el presente gráfico se aprecia la distribución por tiempo según promedios de concentración de arsénico por experimentos. En todos los grupos de estudio se evidencia descenso de la concentración de arsénico al cuarto día de experimentación, posteriormente existe tendencia a aumentar y mantenerse constante la concentración de arsénico hasta los 14 días de tratamiento.

TABLA N°2

PORCENTAJES DE FITORREMEDIACIÓN DE LOS GRUPOS EXPERIMENTALES N°1, N°2, N°3 y N°4

Grupo	Concentración inicial de As	Concentración final de As	Actividad fitorremediadora	% de fitorremediación
Experimental N°1	0,05mg/L	0,025 mg/L	0,025 mg/L	50%
Experimental N°2	0,1mg/L	0,075 mg/L	0,025 mg/L	25%
Experimental N°3	0,5mg/L	0,2125 mg/L	0,2875 mg/L	57,5%
Experimental N°4	1mg/L	0,25 mg/L	0,75 mg/L	75%

Fuente: elaboración propia del investigador

Actividad fitorremediadora= concentración inicial – concentración final

% de fitorremediación= (actividad fitorremediadora x 100%) / (concentración inicial)

TABLA N°3

**CAMBIOS FÍSICOS DE LA RAÍZ DESPUÉS DEL PERÍODO DE
EXPERIMENTACIÓN (21 días)**

	Efectos Del Tratamiento	Cambio	Estado De La Raíz	Efecto
color	E1 (R3, R4), T1, T2, T3 y T4	Blanco	ninguno	ninguno
	E1 (R1, R2), E2(R1, R2, R3, R4), E3(R1, R2)	amarillo o marrón	leve	moderado
	E3 (R3, R4), E4 (R1, R2, R3, R4).	negro	severo	muerte
crecimiento	E1 (R1, R2), E2 (R1, R2, R3, R4), E3 (R1, R2, R3, R4), E4 (R1, R2, R3, R4).	engrosamiento de la raíz	mayor volumen	aumenta
	E3 (R1, R2, R3, R4), E4 (R1, R2, R3, R4).	crecimiento de nuevos pelos absorbentes	Atrofia	Aumenta
	E3 (R3), E4 (R1, R2, R3, R4).	aumento de la biomasa radicular	mayor volumen	Aumenta
	E2 (R3, R4), C1, C2, C3, C4.	sin cambios de la raíz	Ninguno	Ninguno

Fuente: elaboración propia del investigador

E= grupo experimental; R= repetición; C= grupo control; T= grupo testigo

CONTRASTE DE HIPÓTESIS
PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA ENCONTRAR DIFERENCIAS
ESTADÍSTICAS

Primera Hipótesis Planteada

H₀ No existe diferencia estadística entre las concentraciones según tiempo en el grupo experimento con 0,05 mg/L de arsénico

H₁ Existe diferencia estadística entre las concentraciones según tiempo en el grupo experimento con 0,05 mg/L de arsénico

ANOVA

Arsénico 0.05

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.004	4	.001	13.160	0.000
Intra-grupos	.001	15	.000		
Total	.005	19			

Fuente: Elaboración propia del investigador

Realizando la prueba estadística ANOVA de un factor podemos apreciar que el valor de significancia estadística es menor a 0,05 por lo tanto se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa.

CONCLUSIÓN

Por lo tanto se rechaza H₀

Segunda Hipótesis Planteada

H₀ No existe diferencia estadística entre las concentraciones según tiempo en el grupo experimento con 0,1 mg/L de arsénico

H₁ Existe diferencia estadística entre las concentraciones según tiempo en el grupo experimento con 0,1 mg/L de arsénico

ANOVA

Arsénico 0.1

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.006	4	.002	3.000	.053
Intra-grupos	.008	15	.001		
Total	.014	19			

Fuente: Elaboración propia del investigador

Realizando la prueba estadística ANOVA de un factor podemos apreciar que el valor de significancia estadística es mayor a 0,05 por lo tanto se puede afirmar que no existe diferencia estadística significativa.

CONCLUSIÓN

Por lo tanto no se rechaza H₀

Tercera Hipótesis Planteada

H₀ No existe diferencia estadística entre las concentraciones según tiempo en el grupo experimento con 0,5 mg/L de arsénico

H₁ Existe diferencia estadística entre las concentraciones según tiempo en el grupo experimento con 0,5 mg/L de arsénico

ANOVA

Arsénico 0.5

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.304	4	.076	10.474	.000
Intra-grupos	.109	15	.007		
Total	.413	19			

Fuente: Elaboración propia del investigador

Realizando la prueba estadística ANOVA de un factor podemos apreciar que el valor de significancia estadística es menor a 0,05 por lo tanto se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa.

CONCLUSIÓN

Por lo tanto se rechaza H₀

Cuarta Hipótesis Planteada

H₀ No existe diferencia estadística entre las concentraciones según tiempo en el grupo experimento con 1,0 mg/L de arsénico.

H₁ Existe diferencia estadística entre las concentraciones según tiempo en el grupo experimento con 1,0 mg/L de arsénico.

ANOVA

Arsénico1					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1.748	4	.437	102.838	.000
Intra-grupos	.064	15	.004		
Total	1.812	19			

Fuente: Elaboración propia del investigador

Realizando la prueba estadística ANOVA de un factor podemos apreciar que el valor de significancia estadística es menor a 0,05 por lo tanto se puede afirmar que existe diferencia estadística significativa.

CONCLUSIÓN

Por lo tanto se rechaza H₀

4.2. DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann del departamento de Tacna, el cual es un diseño experimental, prospectivo, longitudinal y analítico.

Se inicia con la recolección de la especie *Schoenoplectus californicus* “junco” de las riveras del lago Titicaca, posteriormente se identificó y seleccionó 740 tallos y raíces de la planta, para luego proceder a su aclimatación que consistió en llevar a un pH ideal (entre 4 y 6) y una conductividad menor a 400 us, esto debido a que en ambientes más ácidos marchita y muere, lo mismo sucede con altos valores de conductividad que no soporta.

Durante el desarrollo del trabajo se realizaron 4 repeticiones por cada grupo experimental, distribuidas y dispuestas en condiciones similares, como se demuestra en los gráficos N°1, N°2, N°3 y N°4 (Pág. 78, 79, 80, 81) y tabla N°1 (Pág.77) con la intención de que no haya interferencia durante los tratamientos, observándose así la secuencia de valores casi homogéneos encontrados en el grupo experimental N°4, a diferencia de los grupos experimentales N°1, N°2 y N°3. Se debe probablemente al hecho del aumento de raíces

en la planta, que se traduce en una mayor absorción y por lo tanto extracción de arsénico. Otra información encontrada que avalan lo mencionado es que la planta presenta tendencia a sufrir perturbación evidenciada por cambios de color y aumento de raíces, hecho referido al estrés que pueden sufrir ciertas plantas cuando están frente a metales pesados, los cuales inducen un engrosamiento de las raíces, incluyendo un incremento en la densidad y diámetro de las mismas, cuya condición favorece la capacidad de acumular mayor cantidad del elemento químico. ^(58, 59) Estos datos concuerdan con los cambios de estado de la raíz por efecto del arsénico, medidos después de los 21 días de experimentación según la tabla N°3 (Pág. 94).

En los gráficos N°5, N°6, N°7 y N°8 (Pág. 82, 83, 84 y 85) se observa el comportamiento de los grupos control (arsénico sin plantas), los cuales se mantienen en línea horizontal, indicando que las concentraciones de 0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg/l de As en agua no varían con el transcurrir de los días. Esto corresponde a la cinética del As^{+3} durante el ensayo, que se mantiene en agua debido a que es un elemento no volátil.

En los gráficos N°9, N°10, N°11, N°12, N°13, N°14 y N°15 (Pág.86, 87, 88, 89, 90, 91 y 92) se observa las comparaciones de los grupos experimentales (E_1 = Experimental N°1, E_2 = Experimental N°2, E_3 =Experimental N°3 y E_4 =Experimental N°4) donde las concentraciones iniciales fueron $E_1=1\text{mg/L}$, $E_2=0,5\text{mg/L}$, $E_3=0,1\text{mg/L}$ y $E_4=0,05\text{mg/L}$; que desciende significativamente a los 4 días de tratamiento a $E_1=0,25\text{mg/L}$, $E_2=0,175\text{mg/L}$, $E_3=0,04375\text{mg/L}$ y $E_4=0,01375\text{mg/L}$; con un descenso a los 8 días de tratamiento en el grupo $E_1= 0,2125$, también se observa que se mantiene estable en el grupo $E_2= 0,175$ y aumenta las concentraciones en los grupos $E_3=0,075$ y $E_4=0,0175$; finalmente se puede observar que a los 14 días de tratamiento modificación de las concentraciones a $E_1=0,25\text{mg/L}$, $E_2=0,2125\text{mg/L}$, $E_3=0,075 \text{ mg/L}$, $E_4=0,025 \text{ mg/L}$; demostrándose, que parte del arsénico es absorbida a un tiempo determinado por la planta. Los resultados experimentales coinciden con lo encontrado por BURK y WEIS ⁽⁶⁰⁾, quienes mencionan que las plantas acuáticas acumulan gran cantidad de metales pesados en sus tejidos como arsénico, mercurio, cadmio, plomo, cromo, los cuales son liberados posteriormente al medio. También la fitorremediación se puede explicar según WANG y COL ⁽⁶¹⁾, quienes exponen que la acumulación de metales por los organismos

acuáticos se presenta en un proceso que consiste en dos pasos: un primer paso de absorción rápida (biosorción), seguido por un segundo paso de transporte lento e irreversible, controlado por difusión al interior de la célula (bioacumulación), que puede ser por difusión del ión metálico a través de la membrana celular o por transporte activo por una proteína transportadora. Según METCALF y EDDY ⁽⁶²⁾, MIRETZKY y COL ⁽⁶³⁾, el mecanismo involucrado en la biosorción de los metales pesados es a través de un intercambio de iones entre metales monovalentes como iones móviles intercambiables presentes en la biomasa de las macrófitas e iones de metales pesados y protones tomados desde el agua, esta biosorción llega a un punto de saturación según OPORTO y COL ⁽⁶⁴⁾, quienes lo consideraron como un fenómeno superficial de adsorción monocapa, caracterizado por una capacidad máxima por parte del adsorbente, el cual, después de un cierto tiempo de contacto con la solución, llega a un nivel de saturación en el que la concentración de la sustancia de interés en el adsorbente es constante como ocurre en los grupos experimentales. Autores como MENTABERRY (2009), describen los mecanismos de evasión o tolerancia, de tres formas, captación celular limitada (evasión), metabolismo resistente a metales pesados y detoxificación por quelación,

compartimentalización o precipitación; estos procesos y mecanismos de la planta, específicamente las macrófitas, crearon el comportamiento característico, que explica este proceso de absorción, expulsión y reabsorción de una manera cíclica. Resultados similares fueron obtenidos por ALVARADO Y COL ⁽⁶⁵⁾, donde se evaluó la remoción de arsénico y se observó una cinética similar. Aunque la información sobre la capacidad de movilizar/inmovilizar As por las plantas no es abundante, según FITZ y WENZEL ⁽⁶⁶⁾, la analogía fosfato/arsénico permite establecer ciertos paralelismos en su dinámica en la rizósfera.

Según la Tabla N°2 (Pág. 93) se observa el porcentaje de fitorremediación a partir de la concentración inicial y concentración final de arsénico en agua, donde resulto que existe 75% de fitorremediación para 1mg/L, 57,5% de fitorremediación para 0,5mg/L, 25% de fitorremediación para 0,1mg/L y 50% de fitorremediación para 0,05mg/L, lo que nos demuestra que el *Schoenoplectus californicus* “junco” tiene capacidad de asimilar dicho elemento; por lo que es de suponer que si se agrega mayor concentración, es posible que la planta tenga respuesta; similares estudios han reportado que la misma especie acumula plomo, cobre, cromo, níquel y cadmio, en las mismas condiciones. ⁽⁶⁷⁾ SEIDEL ⁽⁶⁸⁾

del Instituto Max Planck (Alemania) reporta la existencia de plantas emergentes para la remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Plantea, que mediante el empleo del Junco común (*Schoenoplectus lacustris*), era posible la remoción de una serie de sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas ⁽⁶⁸⁾; sus características anatómicas le permite mantener en su interior abundante agua y aire, en proporciones estables durante largos períodos de tiempo, por lo que el elemento fácilmente se propaga mediante yemas y semillas. ^(20, 69, 70) La totora no solamente acumula contaminantes cuando está viva, sino que se ha verificado que los tejidos de ejemplares secos pueden ser altamente eficientes en la retención de metales, actuando como resinas de intercambio. ^(71, 72) Según UJANG y COL ⁽⁵³⁾ indica que el *Schoenoplectus californicus* presenta 85% de capacidad depuradora de metales pesados. Resultados similares se pueden contrastar con la investigación de CONTRERAS ⁽⁷³⁾, quien afirma que la mayor concentración de cadmio se encontró en la raíz de *Scirpus californicus* en condiciones naturales a campo abierto.

Por lo tanto se ha demostrado que el *Schoenoplectus californicus* “junco” es efectivo en la fitorremediación de agua contaminada con arsénico a diferentes concentraciones (0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg/l), pudiendo ser utilizado en la región de Tacna, donde se encontró niveles de arsénico en agua potable que sobrepasan los valores normales de 0,01mg/L normados por la OMS y el reglamento nacional de agua para consumo humano (D.S. 0,31-2010).

CONCLUSIONES

PRIMERA: El *Schoenoplectus californicus* “junco” presenta actividad fitorremediadora en agua contaminada con arsénico.

SEGUNDA: A un pH de 6,47 - 6,97 y conductividad de 132,81us - 185,14us se logró la adaptación y nutrición del *Schoenoplectus californicus* “junco”.

TERCERA: La intoxicación del *schoenoplectus californicus* “junco” se logró a concentraciones de 0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg de arsénico por litro de agua.

CUARTA: Se demostró que el *Schoenoplectus californicus* “junco” tiene capacidad de tolerar altas concentraciones de arsénico, evidenciando su máxima eficiencia de fitorremediación a los cuatro días en todos los grupos experimentales.

QUINTA: La capacidad de absorción del *schoenoplectus californicus* “junco” fue de 75% para 1mg/L, 57,5% para 0,5mg/L, 25% para 0,1mg/L y 50% para 0,05mg/L , de lo que se puede afirmar que es eficiente su actividad fitorremediadora sobre el arsénico.

SEXTA: Después de 21 días de experimentación se observó cambios físicos (color y forma) en la raíz del *schoenoplectus californicus* “junco” debido al efecto del arsénico.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso del *Schoenoplectus californicus* “junco” en el departamento de Tacna, donde se encontró un incremento de la concentración de arsénico en agua potable que sobrepasan los valores normales de 0,01mg/L por la OMS y el reglamento de la calidad del agua para consumo humano (D.S.031 – 2010), debido a que fue efectivo a diferentes concentraciones (0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg/l) de arsénico en agua.
2. Se recomienda la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco”, ya que es una alternativa a los métodos convencionales existentes de destoxificación de arsénico, además resulta una herramienta efectiva y económica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nicolli H, Suriano J, Gómez Peral M, Ferpozzi L, Baleani O. Groundwater Contamination with Arsenic and other trace elements in an area of the Pampa, Province of Córdoba, Argentina. *Environmental Geology Water Science*. 1989; 14 (1): 3-16.
2. Pérez Carrera A, Fernández Cirelli A. Fitotecnologías para la remoción de As en aguas. XXI Congreso Nacional del Agua. San Miguel de Tucumán, Argentina. 2007.
3. Bundschuh J, Pérez Carrera M, Litter M. Distribución del Arsénico en las Regiones Ibérica e Iberoamericana. *Iberoarsen*.
4. Mandal B., Suzuki K. Arsenic around the world: a review. *Talanta*. 2002; 201 - 235.
5. Organización Mundial de la Salud (OMS). Guía para agua potable, tercera edición. 2006.
6. Canivet P, Chambon P, Gibert J. Toxicity and bioaccumulation of arsenic and chromium in epigeal and hypogean freshwater macroinvertebrates. *Environmental Contamination and Toxicology*. 2000; 40 (3): 345-354.

7. Azizur Rahman M, Hasegawa H. Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes. *Chemosphere*. 2011; 83 (5): 633-646.
8. Pérez caballero I.E. Síntesis de nano partículas de magnetita para la remoción de arsénico en agua. [título de licenciatura en ciencias ambientales]. México: Universidad de la sierra Juárez; 2012
9. El problema del arsénico en el Mercosur. Un abordaje integrado y multidisciplinar en la investigación y desarrollo para contribuir a su resolución [EN LINEA]. 2013. [citada 2013 noviembre 21]; disponible en:
http://www.cytod.org/documentos/noticias/doc_28.pdf
10. Diseño e implementación de filtros piloto, para disminuir la concentración de arsénico en agua de consumo humano [EN LINEA]. 2013. [citada 2013 octubre 26]; disponible en:
https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCgQFjAA&url=https%3A%2F%2Fengineerswithoutbordersucb.wikispaces.com%2Ffile%2Fview%2FPlan_de_Trabajo_Spanish_by%2BJavier.docx&ei=dzJ7UvmfLsWGrgHv_oDQBA&usg=AFQjCNHzNBuuXLWM8spN6NrZPbwePOiqgA&bvm=bv.56146854,d.aWM

- 11.**Ministerio de salud (MINSA). Reglamento de la calidad de agua para consumo humano. [EN LINEA]. 2011. [citada 2013 octubre 20]; disponible en:
http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf
- 12.**EPS admite que nivel de arsénico en agua supera lo fijado en norma nacional. LA REPÚBLICA. [EN LINEA]. 2013. [citada 2013 noviembre 21]; disponible en:<http://www.larepublica.pe/08-10-2013/tacna-eps-admite-que-nivel-de-arsenico-en-agua-supera-lo-fijado-en-norma-nacional>.
- 13.**Calidad de agua de consumo poblacional. [EN LINEA]. 2013. [citada 2014 febrero 18]; disponible en:
<http://www.ciptacna.org.pe/archivos/sagudviif8zzm7e3rtrkoemc55.pdf>.
- 14.**Tacna: pobladores consumen agua potable con niveles altos de arsénico. COMERCIO. [EN LINEA]. 2013. [citada 2013 noviembre 21], disponible en: <http://elcomercio.pe/actualidad/1615690/noticia-tacna-pobladores-consumen-agua-potable-niveles-elevados-arsenico>.
- 15.**Jaramillo Jumbo M, Flores Campoverde E.D. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales lemna minor (lenteja de

agua) y eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. [Tesis para optar al título profesional de ingeniero ambiental]. ECUADOR: universidad politécnica salesiana sede cuenca; 2012.

16. Ticona Castro M.A. contaminación del agua potable con arsénico y frecuencia del cáncer en la ciudad de Tacna 2010-2011, revista médica Basadrina 2012; 6 (1): 4-6.
17. Carabantes Galetovic A., Fernicola N. Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. Revista brasileña de Ciencias Farmacéuticas 2003; 39 (4): 365-375.
18. Castro de Esparza M.L. Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. Revista del congreso internacional de México 2006 junio; 1(1):20-24.
19. Navoni J.A, Pietri D, García S, Villaamil L. Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires. Revista Panamericana de Salud Pública 2012; 31 (1): 1-8.
20. Benítez Pacheco I.L. Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas Jacinto de agua (eichornia crassipes) y tul (Thypa spp) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales la cerra, villa canales por medio de

fluorescencia de rayos x. [Maestría en ciencia tecnología y ambiente]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala; 2008.

- 21.** Calderón Torres J. Fitorremediación de aguas residuales por hidroponía. [Tesis para obtener el grado en maestro en ciencias en ingeniería ambiental]. México: Instituto politécnico nacional; 2009.
- 22.** Rodríguez A. las plantas que logran potabilizar agua. [artículo de internet] España; 2013 [citada 2013 noviembre 16]; URL disponible en <http://www.publico.es/378785/las-plantas-logran-potabilizar-el-agua>
- 23.** Mallia M, Auxilia D, Dautant R, Windevoxhel A. Fitorremediación de aguas residuales contentivas de cromo con especies de la familia cannaceae. [maestría en ingeniería ambiental]. Venezuela: Universidad de Carabobo.
- 24.** Flores E, Pérez J. Determinación de arsénico, por absorción atómica, en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisterna y de pozo del distrito de puente piedra. [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Perú: Universidad Nacional Mayor De San Marcos; 2009.
- 25.** Mencías Rodríguez E, Mayero Franco L.M. Manual de Toxicología Básica. Madrid: edición Díaz de santos S.A; 2006.

- 26.** Moreno Jiménez E. Recuperación de suelos mineros contaminados con arsénico mediante fitotecnologías. [tesis doctoral]. España. Universidad autónoma de Madrid; 2010.
- 27.** Ramón Bataller S. toxicología clínica. España: universidad de valencia; 2004
- 28.** Ascar Estay M.L. Distribución de especies inorgánicas y orgánicas de arsénico en suelos tratados con biosólidos. [título en doctor en química]. Chile. Universidad de Chile; 2006.
- 29.** Gajardo Devia C.A. Evaluación del riesgo toxicológico por arsénico mediante el uso de orina como biomarcador. [Título en ingeniero de ejecución en ambiente]. Chile: Universidad de Santiago de Chile; 2009.
- 30.** Sharpe A.G. Química Inorgánica. 2da edición. España: universidad de Barcelona; 1996
- 31.** Benramdane L, Accominotti M, Fanton L. Arsenic speciation in human organs following fatal arsenic trioxide poisoning a case report. Chem. 2007; 1: 116 - 151.
- 32.** Infante L, Palomino S. Cuantificación Espectrofotométrico de Arsénico en Aguas de Consumo Humano en la Vertiente del Río Rímac. [Título profesional de Químico Farmacéutico]. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 1994

- 33.**Concha G, Vogler G, Nermell B. Low-level arsenic excretion in breast milk of native Andean women exposed to high levels of arsenic in the drinking water. *Int Arch Occup Environ Health* 2008; 1: 42 - 46.
- 34.**Litter M, Armienta M, Farías S. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en agua y suelos. Argentina IBERARSE. 2009.
- 35.**Organización mundial de la salud. Arsénico. Organización mundial de la salud.2012
- 36.**Parámetros de calidad y límites máximos permisibles. Oficio Circular No 677-2000/SUNASS-INF.
- 37.**Petrusevski B, Sharma S, Schippers J.C, Shordt K. arsenic in drinking wáter. Thematic overview. 2007; 17: 1-61
- 38.**Styblo M, Razzo M.D, Vega L, Hamilton G.A. comparative toxicity of trivalent and pentavalent inorganic and methylated arsenicals in rat human cells. *Archives of toxicology*. 2000; 74: 289-299
- 39.**Jack C.N, Jianping W, Amjad S.A. global health problem caused by arsenic from natural sources. *Chemosphere*. 2003; 52:1353-1359.
- 40.**Vahter M, Marafante E. y Dencker L. Tssue distribution and retención of As dimethylarsinic acid in mice and rats. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 2005; 13: 259-264.

- 41.** Repetto M. Concentraciones de xenobióticos en fluidos biológicos humanos como referencia para el diagnóstico toxicológico. [Tesis doctoral]. España. Universidad de Sevilla; 2009.
- 42.** Suárez M.I, González Delgado F.J, Gonzales weller D, Rubio armendariz C, Hadisson de la torre. Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales. Cuaderno de medicina forense. [EN LINEA]. 2004. [citada 2014 febrero 06]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1135-76062004000100001&script=sci_arttext
- 43.** Piola J, Navone H, y col. Niveles de exposición a arsénico en agua de bebida y riesgo relativo de cáncer de piel, en Máximo Paz, Santa Fe, Argentina, Sertox. 2001-2005
- 44.** Marconi Valenzuela O.C.H. Remoción de arsénico de las aguas del río maure, en el poblado rural de challapalca, utilizando hidrogel de hidróxido de aluminio. [título profesional de ingeniero químico]. Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; 2008.
- 45.** Cunningham S.D, Berti W.R. Remediation of contaminated soils with green plants. An overview. 1993; 29 (1): 207 – 212.
- 46.** Raskin I, Kumar P, Dushenkov S, Salt D.E. concentration of heavy metals by plants. *Biotechnol.* 1994;5(1): 285 – 290.

- 47.** Pilon Smits E, Pilon E. Phytoremediation of metals using transgenic plants. *Critical Reviews in Plant Science*. 2002; 21(5): 439 – 456.
- 48.** Prasad M. N, Phytoremediation of Metal Polluted Ecosystems. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2003; 50 (5): 686–700.
- 49.** Cherian S, Oliveira M.M. Transgenic plants in phytoremediation: recent advances and new possibilities. *Environmental Science and Technology*. 2005; 39(24): 9377 – 9390.
- 50.** Delgadillo O, Camacho A, Pérez L, Andrade M. depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba Bolivia. Edición Nelson Antequera Durán; 2010.
- 51.** Núñez R.A, Ortega Borges R. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. [EN LINEA]. 2011. [citada 2013 noviembre 07]; disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/Actividad_7.pdf
- 52.** Junco. *Schoenoplectus californicus*. Flora bonaerense. [serie en internet]. 2014. [citada el 2014 enero 27]. disponible en: <http://florabonaerense.blogspot.com/2012/05/junco-schoenoplectus-californicus.html>
- 53.** Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales [EN LINEA]. 2013. [citada 2013 noviembre 16] disponible en:

http://books.google.com.pe/books?id=1kO2J5aDljQC&pg=PA25&lp g=PA25&dq=ADAPTACION+DE+LA+TOTORA&source=bl&ots=Kg m5u1yYYh&sig=5RKRE1kjuv3m5i7FByr4G62I&hl=es419&sa=X&ei =6_qSUvKiLozfkQfPjYCYDw&ved=0CC4Q6AEwAQ#v=onepage&q =ADAPTACION%20DE%20LA%20TOTORA&f=false

- 54.** SABAJ V. Extracción De Juncos (*Schoenoplectus Californicus*) En El Área Protegida Humedales De la Santa Lucia (Uruguay): Contexto Ecológico, Socio espacial Y Perspectivas De Manejo Sustentable. [Tesis De Maestría En Ciencias Ambientales] Uruguay: Universidad De La República. MONTEVIDEO; 2012
- 55.** Taxonomía de *Schoenoplectus californicus*. [EN LINEA] 2014. [citada 2014 enero 27], disponible en: <http://www.hondurassilvestre.com/search/taxa/taxa.aspx?tsn=508142>.
- 56.** Totorá, uso sostenible de un recurso natural. Perú ecológico. [EN LINEA]. 2014. [citada 2014 enero 05] disponible en: http://www.peruecologico.com.pe/flo_totora_2.htm
- 57.** Hernandez Sampien R, Fernandez Collado C, Baptista Lucio P. Metodología de la investigación. Mexico. 2da edición. Editorial MC Graw Hill; 2000.

- 58.** Arduini I, Masoni A, Mariotti M, Ercoli L. Low cadmium application increase miscanthus growth and cadmium translocation. *Environ Exp Bot* 2004; 52:153-164.
- 59.** Rucinska R, Waplak S, Gwozdz E. Free radical formation and activity of antioxidant enzymes in lupin roots exposed to lead. *Plant Physiol Biochem* 1999; 37: 187-194.
- 60.** Burk D, Weis J. Release of metals by the leaves of the salt marsh grasses *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2000; 51:153-159.
- 61.** Wang X, Zhou Q. Ecotoxicological effects of cadmium on three ornamental plants. *Chemosphere* 2005; 60: 16-21.
- 62.** Metcalf L, Eddy H. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ra edición. McGraw-Hill/interamericana de España S.A. Madrid; 1995. pp. 1485
- 63.** Miretzky P, Saralegui A, Fernández C. Simultaneous heavy metal removal mechanism by dead macrophytes. *Chemosphere* 2006; 62(2): 247–254.
- 64.** Oporto C, Arce O, Pauw N, Van den Broeck E. Evaluación del potencial de lemna minor para la remoción de Cr (VI) de aguas residuales. *Revista Boliviana de Ecología* 2001; 10: 17-27.

- 65.** Alvarado S, Guédez M, Marcó L, Graterol N, Anzalone A. Arsenic removal from waters by bioremediation with the aquatic plants Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Lesser Duckweed (*Lemna minor*). *Bioresource Technology* 2008; 19(17): 8436-8440.
- 66.** Wenzel W.W. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils 2009; 321: 385-408.
- 67.** Figueroa C. Determinación de metales trazas (Ni, Cr, Cu y As) en *Scirpus californicus*. [Tesis de Químico Farmacéutico]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2004.
- 68.** Seidel. Sistemas de depuración en humedales para su aplicación en aguas residuales segunda Edición Graw -Hill 1998.
- 69.** Mostacero L, Mejía C, Gamarra T. *Fanerógamas del Perú: Taxonomía, Utilidad y Ecografía*. Edita CONCYTEC. Primera edición 2009: 1068.
- 70.** Velasco G, Espinosa E. Evaluación de la fitorremediación en términos de remediación de carga orgánica, tratando aguas residuales contaminadas con hidrocarburos. [Tesis de Tecnólogo en Química]. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira; 2010.

- 71.** Abdel G, Hegazy A, Chaghaby G. Factorial experimental design for biosorption of iron and zinc using *Typha domingensis* phytomass. *Desalination* 2009; 249: 343-347.
- 72.** Verma V, Tewari S, Rai J. Ion exchange during heavy metal biosorption from aqueous solution by dried biomass of macrophytes. *Biores Technol* 2008; 99: 1932-1938.
- 73.** Contreras S. Determinación de metales traza (Ni, Cr, Cd, Fe, Mg, Al) en totora (*Scirpus californicus*) y sedimento en el santuario de la naturaleza Carlos Anwandter, río Cruces, Valdivia. [Tesis de Químico Farmacéutico]. Chile: Universidad Austral de Chile; 2006.

ANEXOS

ANEXO N°1

FOTOGRAFÍAS DE LA METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN

Figura N°10: Recolección del *Schoenoplectus californicus* a orillas del lago Titicaca.



Fuente: Elaboración propia del investigador

Figura N°11: Selección del *Schoenoplectus californicus* en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Salud.



Fuente: Elaboración propia del investigador

Figura N°12: Fase de adaptación del *Schoenoplectus californicus*



Fuente: Elaboración propia del investigador

Figura N°13: Determinación de pH y conductividad



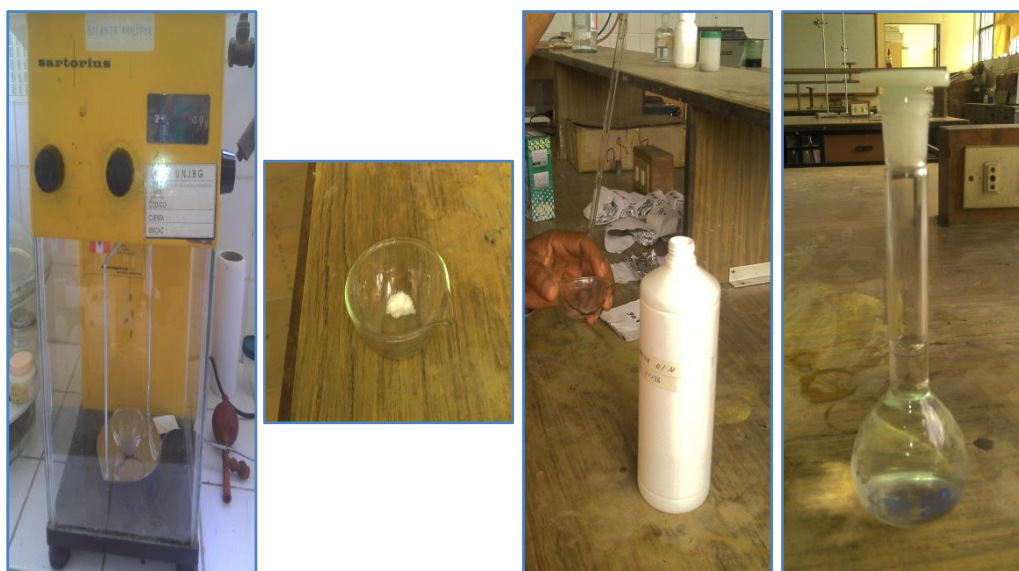
Fuente: Elaboración propia del investigador

Figura N°14: Fase de nutrición del *Schoenoplectus californicus*



Fuente: Elaboración propia del investigador

Figura N°15: Preparación de la solución patrón de arsénico



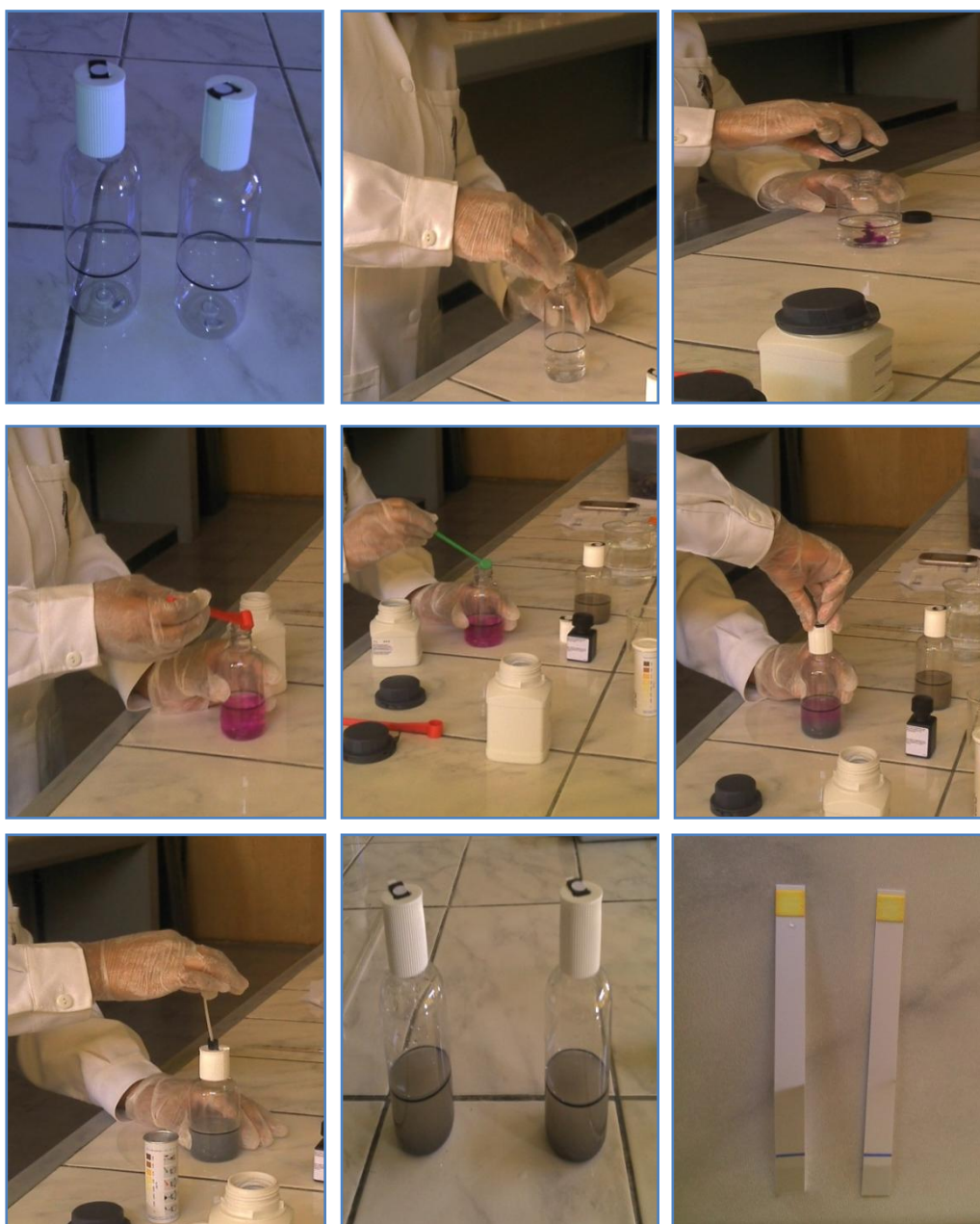
Fuente: Elaboración propia del investigador

Figura N°16: Fase de intoxicación del *Schoenoplectus californicus*



Fuente: Elaboración propia del investigador

Figura N°17: Técnica de medición para la determinación de arsénico en agua.



Fuente: Elaboración propia del investigador

Figura N°18: Evaluación cualitativa del *schoenoplectus californicus* “junco”



Fuente: Elaboración propia del investigador

ANEXOS N°2

**IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA ESPECIE, REALIZADA EN LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

ANEXOS N°3

CONTROL DE VARIABLES UTILIZADAS EN LA ADAPTACIÓN

GRUPO	REPETICIONES	RECIPIENTE	pH		CONDUCTIVIDAD (us)			
			Día 1	Día 3	VALOR MEDIDO		RESULTADO	
					Día 1	Día 3	Día 1	Día 3
planta+agua+As (0.05mg/L)	Repetición N°1	Recipiente N°1	6.86	6.94	195	200	156.967005	160.9918
	Repetición N°2	Recipiente N°2	6.88	6.97	200	205	160.9918	165.016595
	Repetición N°3	Recipiente N°3	6.66	6.79	200	195	160.9918	156.967005
	Repetición N°4	Recipiente N°4	6.7	6.89	205	190	165.016595	152.94221
Testigo N°1		Recipiente N°17	6.6	6.71	210	195	169.04139	156.967005
planta+agua+As (0.1mg/L)	Repetición N°1	Recipiente N°5	6.68	6.94	200	205	160.9918	165.016595
	Repetición N°2	Recipiente N°6	6.6	6.75	170	195	136.84303	156.967005
	Repetición N°3	Recipiente N°7	6.76	6.84	170	185	136.84303	148.917415
	Repetición N°4	Recipiente N°8	6.47	6.69	175	200	140.867825	160.9918
Testigo N°2		Recipiente N°18	6.73	6.83	230	205	185.14057	165.016595
planta+agua+As (0.5mg/L)	Repetición N°1	Recipiente N°9	6.56	6.77	165	210	132.818235	169.04139
	Repetición N°2	Recipiente N°10	6.58	6.86	200	230	160.9918	185.14057
	Repetición N°3	Recipiente N°11	6.58	6.72	175	180	140.867825	144.89262
	Repetición N°4	Recipiente N°12	6.55	6.68	190	200	152.94221	160.9918
Testigo N°3		Recipiente N°19	6.63	6.85	180	200	144.89262	160.9918
planta+agua+As (1mg/L)	Repetición N°1	Recipiente N°13	6.56	6.81	210	210	169.04139	169.04139
	Repetición N°2	Recipiente N°14	6.54	6.74	210	205	169.04139	165.016595
	Repetición N°3	Recipiente N°15	6.76	6.83	220	170	177.09098	136.84303
	Repetición N°4	Recipiente N°16	6.57	6.69	190	175	152.94221	140.867825
Testigo N°4		Recipiente N°20	6.67	6.74	195	200	156.967005	160.9918

Conductividad = Factor temperatura x Factor máquina x valor medido

Factor temperatura: 0.971

Factor máquina: 0.829

ANEXOS N°4

CONTROL DE VARIABLES UTILIZADAS MEDIANTE LA ESCALA

LIKERT

CUADRO N°9: CAMBIOS FÍSICOS DE LA RAÍZ DESPUÉS DEL PERÍODO DE EXPERIMENTACIÓN (21 días)

GRUPO	REPETICIONES	color	crecimiento
Experimental N°1	Repetición N°1	B	E
	Repetición N°2	B	E
	Repetición N°3	A	E
	Repetición N°4	A	E
Control N°1		---	---
Testigo N°1		A	I
Experimental N°2	Repetición N°1	B	E
	Repetición N°2	B	E
	Repetición N°3	B	I
	Repetición N°4	B	I
Control N°2		---	---
Testigo N°2		A	I
Experimental N°3	Repetición N°1	B	E, F
	Repetición N°2	B	E, F
	Repetición N°3	C	E, F, H
	Repetición N°4	C	E, F
Control N°3		---	---
Testigo N°3		A	I
Experimental N°4	Repetición N°1	C	E, F, H
	Repetición N°2	C	E, F, H
	Repetición N°3	C	E, F, H
	Repetición N°4	C	E, F, H
Control N°4		---	---
Testigo N°4		A	I

Fuente: elaboración propia del investigador

✓ ESCALA SEGÚN EL CRECIMIENTO

D= crecimiento longitudinal de la raíz
 E= engrosamiento de la raíz
 F= crecimiento de nuevos pelos absorbentes
 G= aparición de nuevas raíces
 H= aumento de la biomasa radicular
 I= sin cambios de la raíz

✓ ESCALA SEGÚN EL COLOR

A= blanco (sin cambios)
 B= crema o marrón (leve)
 C= negro (severo)

ANEXOS N°5

FOTOGRAFÍA DEL NUTRIENTE Y DE REACTIVOS UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN

Figura N°19:
micronutriente para
plantas acuáticas



Figura N°20:
tríóxido de
arsénico



Figura N°21:
Tiras de ensayo



Fuente: Elaboración propia del investigador

Figura N°22:
reactivo As-1



Figura N°23:
reactivo As-2



Figura N°24:
reactivo As-3



Fuente: Elaboración propia del investigador

ANEXOS N°6

DESCRIPCIÓN DEL KIT DE TEST DE ARSÉNICO UTILIZADO

1.17927.0001

**MQuant™
Test Arsenic**

As

1. Méthode

Par addition de zinc en poudre, d'un acide solide et - pour l'élimination des ions sulfures perturbants - d'un oxydant aux composés d'arsenic(III) et (V), de l'hydrogène arsénié est libéré qui réagit avec le bromure de mercure(II) contenu dans la zone réactionnelle de la bandelette-test pour donner des halogénures jaunes bruns mixtes d'arsenic et de mercure. La concentration en arsenic(III) et (V) est déterminée **semi-quantitativement** par comparaison visuelle de la zone réactionnelle de la bandelette-test avec les zones d'une échelle colorimétrique.

2. Domaine de mesure et nombre de dosages

Domaine de mesure / graduation de l'échelle colorimétrique	Nombre de dosages
0,005 - 0,010 - 0,025 - 0,05 - 0,10 - 0,25 - 0,50 mg/l de As	100

3. Applications

Ce test dose l'arsenic trivalent et pentavalent.

Echantillons:

Eaux potables et minérales
Eaux de source et eaux de puits
Eaux souterraines et de surface

4. Influence des substances étrangères

La vérification a eu lieu sur des solutions contenant 0,1 et 0 mg/l de As. Le dosage n'est pas encore perturbé jusqu'aux concentrations de substances étrangères indiquées dans le tableau.

Concentrations de substances étrangères en mg/l ou %			
Ag ⁺	0,5	Mg ²⁺	1000
Al ³⁺	100	MnO ₄ ⁻	500
Ca ²⁺	1000	Na ⁺	1000
Cl ⁻	1000	Ni ²⁺	1
CN ⁻	500	NO ₂ ⁻	100
CO ₃ ²⁻	100	NO ₃ ⁻	100
CrO ₄ ²⁻	250	PO ₄ ³⁻	100
Cu ²⁺	0,5	S ²⁻	2
F ⁻	100	Sb ³⁺	1
Fe ²⁺	500	SeO ₃ ²⁻	1
Fe ³⁺	500	SO ₃ ²⁻	2
K ⁺	1000	SO ₄ ²⁻	1000
		EDTA	1000
		Chlore libre (hypochlorite)	250
		Polyéthylène glycol	10 ¹⁾
		Tensio-actifs anioniques ²⁾	1
		Tensio-actifs cationiques ³⁾	0,1
		Tensio-actifs non ioniques ⁴⁾	0,05
		NaCl	20 %

¹⁾ Pour des concentrations supérieures, éliminer le polyéthylène glycol comme indiqué à l'application (cf. site web).

²⁾ testé avec Marlon® A 375

³⁾ testé avec le bromure de N-cétyl-N,N,N-triméthylammonium

⁴⁾ testé avec Triton® X-100

5. Réactifs et produits auxiliaires

Tenir compte de tous les avertissements figurant sur l'emballage et les réactifs.

Conservés hermétiquement fermés entre +15 et +25 °C, les bandelettes-test et les réactifs-test sont utilisables jusqu'à la date indiquée sur l'emballage.

Contenu d'un emballage:

Tube contenant 100 bandelettes-test
1 flacon de réactif As-1
1 flacon de réactif As-2
1 flacon de réactif As-3
1 cuiller rouge
1 cuiller verte
2 flacons à réaction avec bouchon fileté

Autres réactifs:

Arsenic - solution étalon CertiPUR®, 1000 mg/l de As, art. 119773

6. Préparation

Les échantillons contenant plus de 0,50 mg/l de As doivent être dilués avec de l'eau distillée. Ou bien, on peut aussi utiliser le test Arsenic (bandelettes-test visuelles) art. 117917 (domaine de mesure 0,02 - 3,0 mg/l de As).

7. Mode opératoire

Echantillon préparé	60 ml	Remplir le flacon à réaction jusqu'au trait.
Réactif As-1	2 gouttes ¹⁾	Ajouter et agiter légèrement.
Réactif As-2	1 cuiller rouge arasée	Ajouter et agiter légèrement jusqu'à dissolution totale du réactif.
Réactif As-3	1 cuiller verte arasée	Ajouter et boucher immédiatement le flacon à réaction avec le bouchon fileté.

Relever le fixe-bandelette noir intégré dans le bouchon fileté de telle manière que le point blanc soit tourné vers l'utilisateur. Introduire immédiatement la bandelette-test jusqu'au trait, la zone réactionnelle en avant, dans l'ouverture et rabattre complètement le fixe-bandelette.

Laisser reposer 20 minutes en agitant deux ou trois fois d'un léger mouvement circulaire. Éviter le contact entre la bandelette-test et la solution.

Ratirer la bandelette, la plonger brièvement dans de l'eau distillée, la secouer pour en éliminer l'excédent de liquide et identifier la zone colorée de l'étiquette se rapprochant le plus de la couleur de la zone réactionnelle.

Lire le résultat correspondant en mg/l de As.

¹⁾ Pendant l'addition du réactif tenir le flacon verticalement.

Remarques concernant la mesure:

- Passé le temps de réaction indiqué, la zone réactionnelle peut éventuellement continuer à changer de couleur. Ceci ne doit pas être pris en considération pour la mesure.
- Lorsque la couleur de la zone réactionnelle est aussi foncée ou plus foncée que la couleur la plus sombre de l'échelle colorimétrique, il faut relaire la mesure sur de nouveaux échantillons dilués, jusqu'à l'obtention d'un résultat inférieur à 0,50 mg/l de As.
Bien entendu prendre la dilution (cf. aussi § 6) en considération pour le résultat d'analyse:

$$\text{Résultat d'analyse} = \text{valeur mesurée} \times \text{facteur de dilution}$$

8. Contrôle du procédé

Contrôle des bandelettes-test, des réactifs-test et de la manipulation:
Diluer la solution étalon d'arsenic à 0,10 mg/l de As avec de l'eau distillée et analyser comme décrit au § 7.

Remarques complémentaires, cf. sous www.qa-test-kits.com.

9. Remarques

- **Reboucher immédiatement** les flacons après le prélèvement des réactifs et le tube après avoir prélevé la bandelette-test.
- **Ne rincer** les flacons à réaction qu'avec de l'eau distillée.

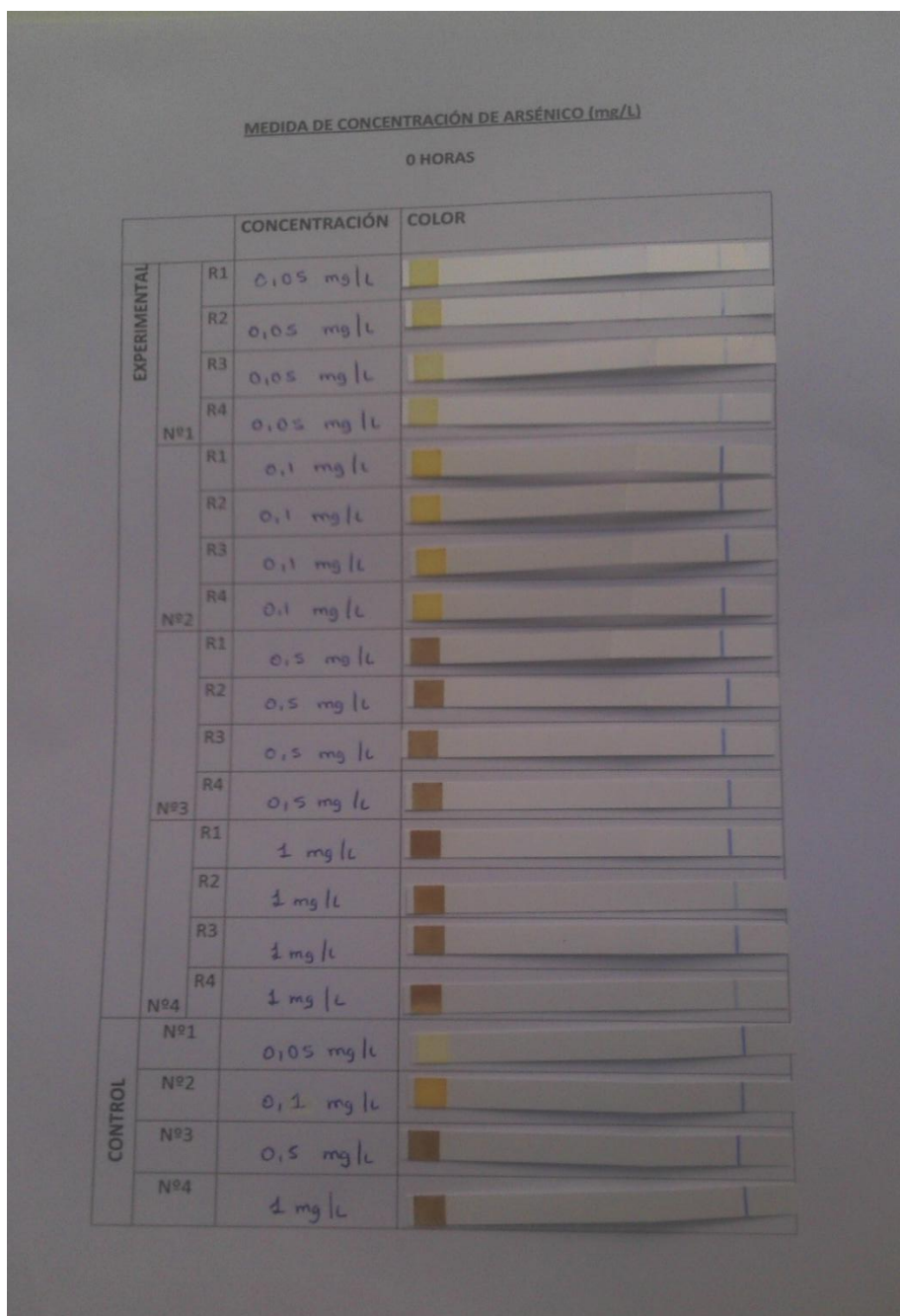
Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany,
Tel. +49(0)6151 72-2440
www.analytical-test-kits.com
EMD Millipore Corporation, 290 Concord Road,
Billerica, MA 01821, USA, Tel. +1-978-715-1335



ANEXOS N°7

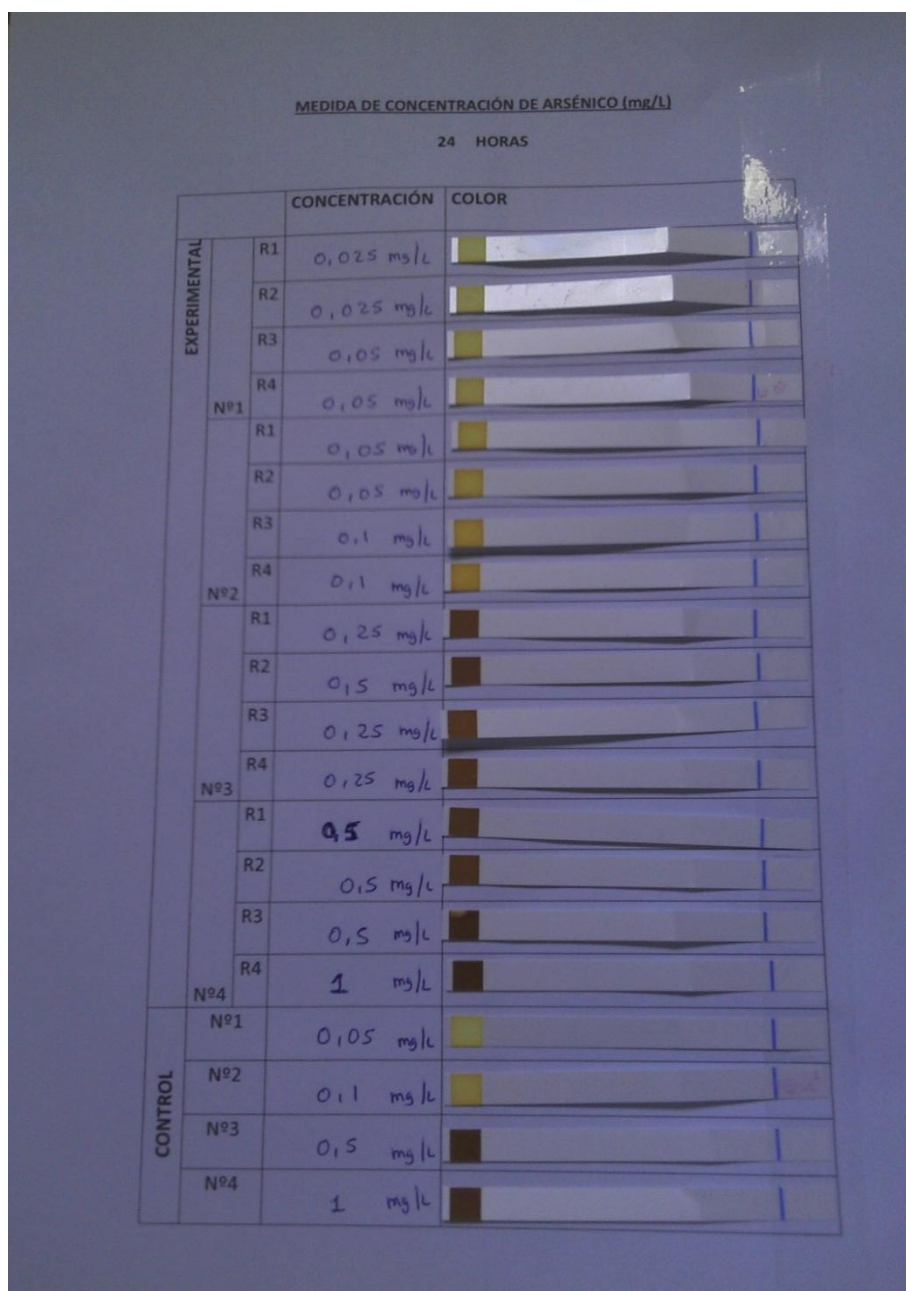
RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

FIGURA N°25: Resultados de la determinación semicuantitativa del arsénico en agua a las cero horas.



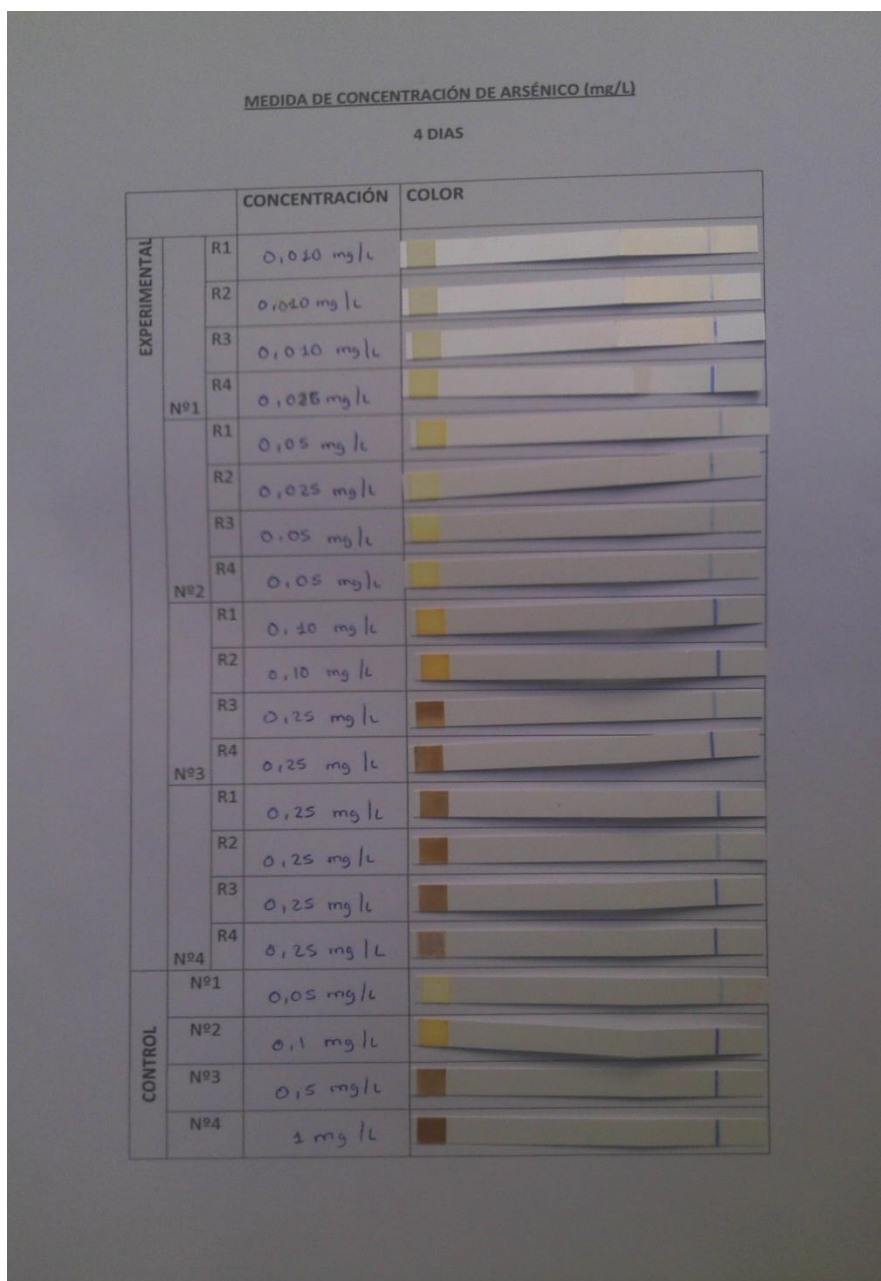
Fuente: Elaboración propia del investigador

FIGURA N°26: Resultados de la determinación semicuantitativa del arsénico en agua a las 24 horas.



Fuente: Elaboración propia del investigador

FIGURA N°27: Resultados de la determinación semicuantitativa del arsénico en agua a los cuatro días.



Fuente: Elaboración propia del investigador

FIGURA N°28: Resultados de la determinación semicuantitativa del arsénico en agua a los 8 días.

MEDIDA DE CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO (mg/L)
8 DIAS

		CONCENTRACIÓN	COLOR	
EXPERIMENTAL	N°1	R1	0,010 mg/L	
		R2	0,010 mg/L	
		R3	0,025 mg/L	
		R4	0,025 mg/L	
	N°2	R1	0,05 mg/L	
		R2	0,05 mg/L	
		R3	0,10 mg/L	
		R4	0,10 mg/L	
	N°3	R1	0,25 mg/L	
		R2	0,25 mg/L	
		R3	0,10 mg/L	
		R4	0,20 mg/L	
	N°4	R1	0,25 mg/L	
		R2	0,10 mg/L	
		R3	0,25 mg/L	
		R4	0,25 mg/L	
CONTROL	N°1	0,05 mg/L		
	N°2	0,1 mg/L		
	N°3	0,5 mg/L		
	N°4	1 mg/L		

Fuente: Elaboración propia del investigador

FIGURA N°29: Resultados de la determinación semicuantitativa del arsénico en agua a los 14 días.

MEDIDA DE CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO (mg/L)
14 DIAS

		CONCENTRACIÓN	COLOR
EXPERIMENTAL	N°1	R1 0,025 mg/l	[Coloración]
		R2 0,025 mg/l	[Coloración]
		R3 0,025 mg/l	[Coloración]
		R4 0,025 mg/l	[Coloración]
	N°2	R1 0,05 mg/l	[Coloración]
		R2 0,05 mg/l	[Coloración]
		R3 0,10 mg/l	[Coloración]
		R4 0,10 mg/l	[Coloración]
	N°3	R1 0,25 mg/l	[Coloración]
		R2 0,25 mg/l	[Coloración]
		R3 0,10 mg/l	[Coloración]
		R4 0,25 mg/l	[Coloración]
	N°4	R1 0,25 mg/l	[Coloración]
		R2 0,25 mg/l	[Coloración]
		R3 0,25 mg/l	[Coloración]
		R4 0,25 mg/l	[Coloración]
CONTROL	N°1 0,05 mg/l	[Coloración]	
	N°2 0,1 mg/l	[Coloración]	
	N°3 0,5 mg/l	[Coloración]	
	N°4 1 mg/l	[Coloración]	

Fuente: Elaboración propia del investigador

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FITORREMIADORA DEL SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS (junco) EN AGUA CONTAMINADA CON ARSÉNICO. TACNA 2013”

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FITORREMIADORA DEL SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS (junco) EN AGUA CONTAMINADA CON ARSÉNICO. TACNA 2013	PROBLEMA PRINCIPAL: 1. ¿El <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” tiene actividad fitorremediadora en agua contaminada con arsénico?	OBJETIVO GENERAL: 1. Evaluar la actividad fitorremediadora del <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” en agua contaminada con arsénico.	HIPÓTESIS GENERAL: 1. Existe actividad fitorremediadora del <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” en agua contaminada con arsénico.	VARIABLE INDEPENDIENTE Actividad fitorremediadora del <i>Schoenoplectus californicus</i>	Con actividad fitorremediadora	El estudio responde al diseño experimental, porque se hacen variar intencionalmente la variable independiente mediante diferentes concentraciones de arsénico en agua; responde a estudios prospectivo, porque el investigador toma los datos de primera fuente; responde al estudio longitudinal, porque se plantea una relación entre diversas variables de estudio en las que los datos se recolectan en diferentes momentos (inicial, 1 día, 4 días, 8 días y 14 días); y responde a estudio analítico, porque se enumeran las características para determinar sus interrelaciones y rango.
		OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 1. Realizar la adaptación y nutrición del <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” en agua destilada. 2. Inducir la intoxicación del <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” con diferentes concentraciones de arsénico (0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg/l) en agua destilada. 3. Determinar la actividad fitorremediadora del <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” en función del tiempo en diferentes concentraciones de arsénico (0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg/l). 4. Determinar los porcentajes de fitorremediación del <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” en diferentes concentraciones de arsénico (0,05mg/l, 0,1mg/l, 0,5mg/l y 1mg/l). 5. Evaluar los cambios físicos de la raíz del <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” de acuerdo a la escala de Likert.			Sin actividad fitorremediadora	
				VARIABLE DEPENDIENTE Concentración de arsénico en agua	$\frac{mg \text{ de arsénico}}{\text{volumen de agua (l)}}$	

