

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Remoción de arsénico del agua por *Typha latifolia*

Por:

**ILIANA MONSERRAT PÉREZ CALVO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Remoción de arsénico del agua por *Typha latifolia*

Por:


**ILIANA MONSERRAT PÉREZ CALVO**

TESIS


Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
parcial para obtener el título de:

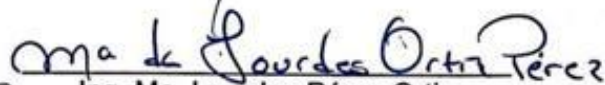
**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**


Aprobada por:

  
PhD. Vicente de Paul Álvarez Reyna  
Presidente

  
M.C. Ricardo Israel Ramírez Gottfried  
Vocal

  
M.C. Edgardo Cervantes Álvarez  
Vocal

  
Ing. Ma. Lourdes Pérez Ortiz  
Vocal

  
Dr. Isaias de la Cruz Álvarez  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre, 2021

Universidad Autónoma Agraria  
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Remoción de arsénico del agua por *Typha latifolia*

Por:


**ILIANA MONSERRAT PÉREZ CALVO**


TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

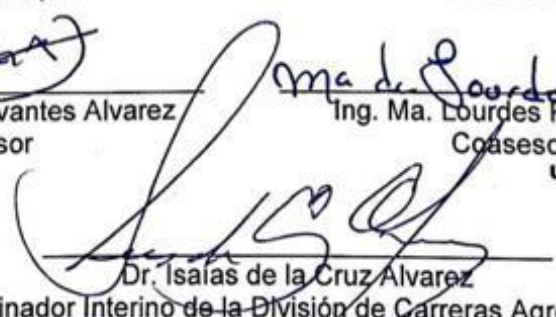
Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Ph.D. Vicente de Paul Alvarez Reyna  
Asesor Principal

  
M.C. Ricardo Israel Ramirez Gottfried  
Coasesor

  
M.C. Edgardo Cervantes Alvarez  
Coasesor

  
Ing. Ma. Lourdes Pérez Ortiz  
Coasesor

  
Dr. Isaias de la Cruz Alvarez  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Universidad Autónoma Agraria  
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre, 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Agradezco a mi familia, por el apoyo incondicional y creer en mis expectativas.

A mi escuela universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por compartir sus conocimientos al largo de mi preparación académica.

Mi más profundo agradecimiento a mi asesor, por sus consejos, correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

Al laboratorio de Riego y Drenaje y Suelos por proporcionarme la metodología equipos y material requerido para los análisis.

A los demás colaboradores por las sugerencias que aportaron para mejorar mi trabajo.

## **DEDICATORIA**

Dedico mi título a mi familia, especialmente a mi madre, María Yolanda Calvo Pérez, que me ha ayudado de manera incondicional, por los valores y consejos que me inculcaron que me sirvieron para mi formación.

A mi asesor de tesis PhD. Vicente de Paul Alvarez Reyna por su apoyo incondicional en el término de mi carrera, compartir sus conocimientos, su espacio y su tiempo.

A mis amigos que me han acompañado al largo de mi carrera, que con el paso de años se han convertido en mi segunda familia, creer en mí y alentarme en lo que hago.

## RESUMEN

A nivel mundial la presencia de arsénico en el agua potable representa un peligro para la salud humana. Es necesario buscar alternativas efectivas y económicas que permitan la remoción del arsénico en el agua, estas técnicas deben remover el arsénico a niveles dentro de los límites permisibles establecidos por las normas oficiales mexicanas e internacionales. La fitorremediación es una técnica utilizada en el tratamiento de agua y suelo, que puede ser usada para absorber todo tipo de metales, nutrientes e inclusive bacterias. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la remoción de arsénico del agua utilizando *Typha latifolia*. La planta de *Typha latifolia* es también conocida como totora. Planta que según la literatura presenta características favorables para la remoción de metales pesados. En este estudio se evaluó la acumulación de arsénico de tres tamaños de planta (chica, mediana y grande) en hoja, raíz y su acumulación en tiempo (10, 20 y 30 días).

Los resultados obtenidos indican que la planta de mayor tamaño realizó la mayor absorción de arsénico. En las estructuras fisiológicas la raíz fue el órgano que acumuló más arsénico y a mayor tiempo de exposición más acumulación.

Palabras clave: Fitorremediación, Metales pesados, Arsénico, *Typha latifolia*, Tratamiento del agua

## INDICE

|   |      |
|---|------|
| AGRADECIMIENTOS .....   | i    |
| DEDICATORIA .....   | ii   |
| RESUMEN.....  | iii  |
| ABSTRACT .....  | viii |
| INTRODUCCIÓN.....   | 1    |
| OBJETIVOS: .....  | 3    |
| HIPÓTESIS: .....  | 3    |
| REVISIÓN DE LITERATURA .....  | 4    |
| Contaminación del agua .....  | 4    |
| Arsénico.....   | 4    |
| Fuentes de contaminación del arsénico.....                                | 4    |
| Contaminación de agua con arsénico.....                                   | 4    |
| Normatividad en México .....  | 5    |
| Contaminación de arsénico en la comarca lagunera .....                    | 6    |
| Fitorremediación .....  | 6    |
| Tipo de plantas acuáticas .....   | 7    |
| Usos de la <i>Typha latifolia</i> .....                                   | 8    |
| <i>Typha latifolia</i> en la fitorremediación.....                        | 8    |
| Estructura de la <i>Typha latifolia</i> .....                             | 9    |
| MATERIALES Y MÉTODOS .....  | 10   |
| Datos climáticos.....   | 10   |
| Diseño experimental .....   | 10   |
| Determinación de arsénico. ....   | 13   |
| Procedimiento para la determinación de arsénico en planta .....           | 14   |
| Procedimiento para la lectura de pH, conductividad y solidos totales..... | 14   |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 18   |

|   |    |
|---|----|
| Concentracion de arsénico en hoja.....            | 18 |
| Concentracion de arsénico en raíz. ....           | 18 |
| Conductividad eléctrica en extracto de hoja.....  | 21 |
| Conductividad eléctrica en extracto de raíz. .... | 22 |
| Concentración de arsénico en agua .....           | 23 |
| pH en agua .....                                  | 24 |
| Conductividad eléctrica en agua .....             | 25 |
| Solidos totales en agua.....                      | 25 |
| CONCLUSIÓN.....                                   | 27 |
| RECOMENDACIONES .....                             | 27 |
| REFERENCIAS .....                                 | 28 |



## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Localización del experimento .....   | 10 |
| Figura 2. Estanque, localización en las coordenadas Latitud 25°33'24.0"N longitud<br>103°22'35.1"W. .... | 11 |
| Figura 3. Limpieza de la <i>Typha latifolia</i> .....  | 12 |
| Figura 4. Distribución de tratamientos. ....   | 13 |
| Figura 5. Arsenator, fotómetro digital portátil para medidor de arsénico. ....                           | 15 |
| Figura 6. Estufa, marca Felissa .....  | 15 |
| Figura 7. Preparación de muestras para las determinaciones.....  | 16 |
| Figura 8. Hoja medianamente molida.....  | 16 |
| Figura 10. Medidor portátil de la marca Hanna .....  | 17 |
| Figura 9. Muestras de concentrado de raíz y hoja en los tubos filling .....                              | 17 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) en hoja de diferente tamaño de planta y fecha de muestreo en <i>Typha latifolia</i> . UAAAN UL. 2021 ..... | 18 |
| Tabla 2. Concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) en raíz de diferente tamaño de planta y fecha de muestreo en <i>Typha latifolia</i> . UAAAN UL. 2021 ..... | 19 |
| Tabla 3. Concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) total en planta <i>Typha latifolia</i> . UAAAN.UL.21 .....   | 20 |
| Tabla 4. pH en el extracto de hoja de <i>Typha latifolia</i> de diferente tamaño de planta y tiempo de muestreo. UAAAN-UL. 2021 .....                             | 21 |
| Tabla 5. pH en el extracto de raíz en la planta <i>Typha latifolia</i> de diferente tamaño y tiempo de muestreo. UAAAN-UL. 2021 .....                             | 21 |
| Tabla 6. Conductividad eléctrica en extracto de hoja de <i>Typha latifolia</i> en diferente tamaño de planta y tiempo de muestreo. UAAAN-UL. 2021. ....           | 22 |
| Tabla 7. Conductividad eléctrica en extracto de raíz de planta de <i>Typha latifolia</i> de diferente tamaño y tiempo de muestreo. UAAAN-UL. 2021 .....           | 23 |
| Tabla 8. Concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) en el agua de diferente fecha de muestreo. UAAAN-UL.2021 .....   | 24 |
| Tabla 9. pH en agua de diferente fecha de muestreo. UAAAN-UL.2021 .....   | 24 |
| Tabla 10. Conductividad eléctrica ( $\text{ms/cm}$ ) en agua en diferente fecha de muestreo. UAAAN-2021 .....   | 25 |
| Tabla 11. Sólidos totales (ppt) en el agua de diferente fecha de muestreo. UAAAN-UL.2021 .....  | 26 |

## **ABSTRACT**

Worldwide, the presence of arsenic in drinking water represents a danger to human health. It is necessary to look for effective and economical alternatives that allow the removal of arsenic in the water. These techniques must allow the removal of arsenic within the permissible limits established by Mexican and international standards. Phytoremediation is a technique used in the treatment of water and soil, which can be used to absorb all kinds of metals, nutrients and even bacteria. The objective of the present work was to evaluate the removal of arsenic from the water using *Typha latifolia*. The *Typha latifolia* plant is also known as cattail. Plant that according to the literature presents favorable characteristics for the removal of heavy metals. In this study, it was evaluated where the greatest accumulation of arsenic occurs in plant size (small, medium and large) in which part of the leaf, root and its accumulation in time 10, 20 and 30 days.

The results obtained indicate that the large plant made the highest absorption of arsenic. In physiological structures, the root was the organ that accumulated more arsenic due to the long exposure time.

Keywords: Phytoremediation, heavy metals, arsenic.

## INTRODUCCIÓN

El arsénico es un elemento de los más tóxicos en el mundo, se le encuentra fácilmente en el medio ambiente en agua, suelo, aire y alimentos contaminados (Jang *et al.*, 2016). Este metal se forma de manera natural en agua, rocas, suelo, aire planta y animales. Es liberado al ambiente a través de procesos naturales o actividades antropogénicas. Su presencia en el agua subterránea consumida por los seres vivos constituye un problema en grandes regiones del mundo y México no es la excepción. Entre la población que consume agua con alta concentración de arsénico la de áreas rurales es la más afectada debido a la falta de acceso al agua potable. La principal fuente para la contaminación en agua subterránea es debido a disolución natural de minerales en agua subterránea el arsenito y en agua superficial el arsenato, consecuencia de los sedimentos de minerales y a cuatro procesos geoquímicos naturales, como son la disolución reductora, desorción de álcalis, oxidación de sulfuros y actividades geotérmicas (Herath *et al.*, 2016). Problema de salud pública que disminuye la calidad y esperanza de vida en las áreas afectadas. Algunas de las soluciones a este problema deben de ser ecológicas y económicas, siendo la biorremediación o fitorremediación una de ellas. Proceso beneficioso para destruir o reducir los metales (Herath *et al.*, 2016). La fitorremediación es una tecnología de descontaminación de metales pesados. Una buena opción y accesible por lo económico a diferencia de otros tratamientos (Kumar *et al.*, 2019). Este proceso no requiere equipo costoso, ni maquinaria de alta tecnología, por lo que es fácil de implementar (Shukla y Srivastava, 2017). Tecnología adecuada para el tratamiento del agua en pequeñas poblaciones rurales. Las macrófitas acuáticas han sido utilizadas últimamente en la remoción de metales pesados compitiendo con otros métodos. El principal mecanismo de remoción de los metales es la adsorción por el sistema radicular de las plantas. Tecnología que requiere el cultivo de plantas que acumulan gran cantidad de un contaminante específico y son llamadas hiperacumuladores. Plantas que acumulan 100 veces más que una planta normal por lo cual es necesario evaluar especies que puedan desempeñarse satisfactoriamente en técnicas de fitorremediación. Además Lu *et al.* (2019) destacaron en su estudio que las plantas de los humedales artificiales tienen la capacidad de absorber arsénico, además,

la cosecha o remoción de plantas que acumularon As en estos ambientes promueve la reducción de la concentración de contaminantes del agua.

**OBJETIVOS:**

Evaluar la capacidad de remoción de arsénico del agua de *Typha latifolia* en diferentes estados de desarrollo.

Comparar la acumulación de arsénico en hoja y raíz de *Typha latifolia*.

Determinar la acumulación de arsénico en tiempo en *Typha latifolia*

**HIPÓTESIS:**

La *Typha latifolia* presenta similar capacidad de remoción de arsénico del agua independientemente de su etapa de desarrollo, en hoja o raíz y tiempo.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Contaminación del agua**

El agua sido contaminada por muchos factores físicos, químicos, biológicos y radioactivos. Entre ellos los desechos industriales, productos utilizados en la agricultura como insecticidas, fertilizantes, herbicidas, pesticidas fungicidas, contaminantes atmosféricos, y patógenos provenientes de los seres vivos pueden causar graves enfermedades para el ser humano (Chaudhry y Malik, 2017). El cuidado del agua dulce es fundamental, por su uso en actividades necesarias como la agricultura, consumo humano, industria y recreación (Sharma y Bhattacharya, 2017).

### **Arsénico**

El arsénico es un contaminante muy resistente comúnmente encontrado en agua subterránea que tiene gran impacto en la salud humana (Nicomel *et al.*, 2016). La carcinogenicidad de este elemento es alta, se clasifica como Grupo 1 tal como dice la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, este metal causa enfermedades cardiovasculares, hipertensión y diabetes en el ser humano (Zhou y Xi, 2018).

### **Fuentes de contaminación del arsénico.**

Se puede encontrar en el agua, suelo, aire y en efluentes industriales provenientes de la actividad agrícola (Fertilizantes, pesticidas etc.), minera etc. En muchas regiones del mundo la población se ve obligada a consumir agua contaminada por este metal generando un grave problema ambiental (Kulshrestha *et al.*, 2014).

### **Contaminación de agua con arsénico**

El agua dulce contaminada comúnmente se da por la descarga de agua residual, que contiene arsénico o la descarga de sedimentos naturales (Zhang *et al.*, 2019). La contaminación tiene mayor afectación en países subdesarrollados como Bangladesh, India, México, Pakistán y Nepal, así como en algunas partes de más países desarrollados como EE. UU. Las afectaciones del arsénico son graves tanto para la salud como en lo

económico, por lo cual importante minimizar la contaminación (Adeloju *et al.*, 2021). En el caso del agua subterránea algunos mecanismos donde se libera arsénico son soluciones reductoras para el hierro, actividades geotérmicas, acción de microorganismos y materia orgánica (Jha y Tripathi, 2021). Una buena opción para remoción de arsénico con plantas hiperacumuladoras, plantas que pueden ser modificadas genéticamente para un mejor resultado, incluyendo la aplicación de nanopartículas para el crecimiento de estas (Srivastava *et al.*, 2021).

### Normatividad en México

De acuerdo con la norma PROY-NOM-127-SSAI-2017, agua para uso y consumo. Límites permisibles de la calidad del agua.

Norma que muestra los límites máximos permisible (LMP) para el consumo humano y el agua en uso doméstico, esta norma de observancia es obligatorio en todo el territorio, para los organismos publicados y privados (Secretaria de Salud, 2019).

En las tablas 4 y 5 se presentan límites máximos permisibles que establece la norma, y estos se modifican dependiendo del número de población.

Tabla 4 de los LMP de metales y metaloides

Tabla 4 - Especificaciones sanitarias de metales y metaloides

| Parámetros            | Límite permisible | Unidades |
|-----------------------|-------------------|----------|
| Aluminio              | 0.20              | mg/L     |
| Arsénico <sup>a</sup> | 0.025             | mg/L     |
| Bario                 | 1.3               | mg/L     |
| Cadmio <sup>b</sup>   | 0.005             | mg/L     |
| Cobre                 | 2.00              | mg/L     |
| Cromo total           | 0.05              | mg/L     |
| Hierro                | 0.30              | mg/L     |
| Manganeso             | 0.15              | mg/L     |
| Mercurio              | 0.006             | mg/L     |
| Níquel                | 0.07              | mg/L     |
| Plomo                 | 0.01              | mg/L     |
| Selenio               | 0.04              | mg/L     |

NOTA 1 Los límites permisibles de metales y metaloides se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

<sup>a</sup> El límite permisible para arsénico será de 0.025 mg/L, para todas las localidades y se ajustará de conformidad con la tabla de cumplimiento gradual Tabla 5, de este punto 5.4.

Fuente: Secretaria de Salud, 2019



## Tabla 5. de los LMP ajustándose al número de población

Tabla 5 - Tabla de cumplimiento gradual para arsénico y cadmio

| Localidad                         | Año  | Límite permisible de arsénico | Límite permisible de cadmio | Unidades para arsénico y cadmio |
|-----------------------------------|------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Mayor de 500,000 habitantes       | 2020 | 0.01                          | 0.003                       | mg/L                            |
| Entre 50,000 y 499,999 habitantes | 2022 | 0.01                          | 0.003                       | mg/L                            |
| Menor de 50,000 habitantes        | 2025 | 0.01                          | 0.003                       | mg/L                            |

Fuente: Secretaria de Salud, 2019

### Contaminación de arsénico en la comarca lagunera

En un estudio realizado por el instituto Mexicano de tecnología afirma que hasta el 2010, 400 mil habitantes de la comarca lagunera han estado expuesto al agua con arsénico (Valenzuela, 2021). Las concentraciones de arsénico en aguas subterráneas superan por mucho los límites máximos permisibles, por lo que se identifica como un riesgo ecológico y para la salud humano, más específicamente en la ingesta de este, estas concentraciones van de moderadas a altas (Sariñana-Ruiz *et al.*, 2017). En Torreón Coahuila es notable que la gestión del agua en ha sido desfavorable, por lo que existe una necesidad de modernizar la gestión del consumo de agua y uso agrícola, en consecuencia, de este problema la concentración de arsénico supera a los límites máximos permisibles provocando un riesgo para la salud humana (Dorjderem *et al.*, 2020).

### Fitorremediación

Existen varios tipos de fitorremediación, siendo las más comunes: a) **Rizofiltración** donde las raíces absorben y concentran el contaminante que se precipita en ambientes acuáticos, b) **Fitoestabilización** es la estabilización del contaminante mediante la precipitación o reducción de valencia en suelo o agua contaminada, c) **Fitoextracción**, es en donde las plantas concentran y precipitan el contaminante en forma de biomasa; d) **Fitovolatilización**, proceso caracterizado porque las plantas extraen el contaminante por la raíz y las expulsan a través de la transpiración (Gałczyńska *et al.*, 2019).

En la fitorremediación el uso de plantas acuáticas es primordial ya que éstas tienen la característica de ser hiperacomuladoras; capacidad de concentrar metales en su tejido más allá de los niveles normales, sin que se les observe alguna alteración por

su toxicidad, lo que las hace más tolerantes que las demás (Saxena *et al.*, 2020). Es uno de los métodos menos dañinos pero presenta ciertas desventajas, una de ellas es, que requiere en algunos casos tiempo considerable para crecimiento de la planta en comparación con otros métodos físicos y químicos tradicionales, ya que la planta tiene su propio desarrollo que puede variar por su entorno (Onyia *et al.*, 2020).

### **Tipo de plantas acuáticas**

#### ***Eichhornia crassipes***

Representa gran beneficio para la remoción de metales pasados por sus rizobacterias, efectivas en la remoción de arsénico. Las rizobacterias pueden servir como un biofiltro ecológico, que a su vez es económico (Kaur *et al.*, 2018).

#### ***Salvina minima***

Tipo de planta capaz de transferir nano contaminantes, siendo esta una planta bioacumulativa, muy buena opción para la fitorremediación (Thwala *et al.*, 2021).

#### ***Ceratophyllum demersum***

Como las plantas fitorremediadoras tiene una gran capacidad de acumulación metales pesados y la limpieza de mantos acuáticos, también es muy efectiva para pruebas de toxicidad en laboratorio (Mahmoud *et al.*, 2018).

#### ***Spartina alterniflora***

Hierba que tiene múltiples ventajas, ya que es resistente a la baja temperatura, pH, alta salinidad y rápida propagación. La última característica puede tener un impacto negativo; porque puede invadir y desplazar a especies nativas. Su alta resistencia la hace fuerte candidata para ser una de las especies fitorremediadoras a utilizar en suelo y agua contaminadas con metales pesados. Ideal para zonas costeras, manteniendo los debidos cuidados (Syed *et al.*, 2021).

### ***Typha Latifolia***

Planta acuática, que puede crecer todo el año sin ningún cambio en sus hojas, color; que puede alcanzar una altura de 1.5 a 2 metros, sus raíces alcanzan entre 2 a 4 centímetros de diámetro y un largo de 70 centímetros en promedio. Sus ramificaciones tienen una característica fina y densa, con flores masculinas de color marrón o amarillo, en flores maduras se da un estipe densamente largo, peludo y delgado igualmente de color marrón (Lim, 2016). La porosidad de su hoja puede llegar a ser del 96% lo que la hace resistente y de baja densidad (Liu *et al.*, 2018).

### **Usos de la *Typha latifolia***

Especie de totora como comúnmente se le conoce, es versátil, y puede servir para la fabricación de papel, algunos pueblos indígenas la utilizan como alimento, consumiendo los brotes jóvenes. El polen de sus flores se usaba para forrar zapatos o rellenar almohadas. Las hojas al ser fibrosas se utilizan en el campo de la construcción para situaciones emergencia o hacer de estas hojas cuerdas, cinturones o correas (Redekop, 2019b).

### ***Typha latifolia* en la fitorremediación**

Esta planta es una opción para la fitorremediación en suelo, ya que es una excelente planta hiperacumuladora, tomando en cuenta la expansión del territorio en donde crece (Chitimus *et al.*, 2016). La resistencia de la *Typha latifolia* a agua residual urbana es muy alta, y es más efectiva si el periodo de permanencia es mayor (Mamine *et al.*, 2019). Al exponerse a metales pesados sufre un cambio en su metabolismo por la adherencia de estos metales a la pared celular (Stroppa *et al.*, 2020a). Las modificaciones que sufre la *Typha latifolia* puede sufrir cambios en su metabolismo lo cual puede tener afectaciones en su crecimiento y esto puede deberse como modificación a la resistencia de metales pesados (Stroppa *et al.*, 2020b). Uno de los efectos secundarios de la fitorremediación con la *Typha L.* es la eliminación de patógenos microbianos (*Vibrio sp.*, *Escherichia coli*, recuento bacteriano total y bacterias anaerobias) que inclusive puede llegar a una eliminación de 100% (Gaballah *et al.*, 2020).

Al igual el efecto en suelo es efectivo para usarlo en Fito extracción (utilizado en suelos contaminados) en este proceso se tiene que tomar en cuenta en tamaño de expansión que la planta a utilizar pueda tomar (Chitimus *et al.*, 2019).

### **Estructura de la *Typha latifolia***

*Typha latifolia* es una herbácea perenne de humedal emergente que alcanza de 1 a 3 m de altura y crece desde rizomas gruesos, crecen prolíficamente a partir de rizomas subterráneos gruesos, formando densas esteras de rizomas y hojarasca que pueden competir con otras especies de humedales que intentan establecerse o sobrevivir (Redekop, 2019a). La hoja *Typha* es una viga en voladizo liviana, que consta de epidermis, diafragma, tabique, cables de fibra sin lignificación y tejidos de espuma. La porosidad total de la lámina de la hoja es aproximadamente del 96 %, exhibiendo las características de alta resistencia y baja densidad (Liu *et al.*, 2017). Esta planta presenta características deseables para la remediación de sitios acuáticos, como un sistema raíz-rizoma bien desarrollado, fácil recolección y alta producción de biomasa (Leura-Vicencio *et al.*, 2013). El uso de esta especie indica que podría ser cosmopolita por sus atributos de remediación de diversos contaminantes siendo recursos económicos y de fácil acceso (Ramos-Arcos *et al.*, 2019)

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, localizada a un costado del periférico Raúl López Sánchez S/N, en la colonia valle verde CP 27054, Torreón Coahuila, ubicada geográficamente en las coordenadas latitud 25°33'24.4"N y longitud 103°22'33.7"W.



Figura 1. Localización del experimento

### Datos climáticos.

Área de clima desértico y precipitación muy baja de acuerdo con **Köppen y Geiger** **AÑO DE ESTA CITA** con una temperatura media anual en la ciudad de Torreón de 21.5 grados Celsius y una precipitación promedio de 227 milímetros.

### Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue en parcelas divididas con dos factores. Factor: A, parcela mayor (Tamaño de planta chica mediana y grande) y parcela chica factor B,

días de muestreo después de introducir las plantas en el agua (10, 20 y 30 días), con cuatro repeticiones. El análisis de las variables evaluadas en agua se utilizó un diseño factorial con nueve repeticiones. El análisis de datos se realizó utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis Software. SAS.

El agua con arsénico utilizada se obtuvo de un domicilio particular de la colonia Senderos, ubicado cerca donde se encuentra el pozo de extracción de agua de abastecimiento para consumo humano con un contenido de arsénico de 184 ppm. La *Typha latifolia* fue obtenida del estanque de piedra ubicado a espaldas del Laboratorio de riego y drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio narro U.L. (Figura 2), de donde fueron seleccionadas plantas en diferente etapa de desarrollo (Tamaño) para determinar la mejor etapa de desarrollo de la planta para la remoción de arsénico del agua.



Figura 2. Estanque, localización en las coordenadas Latitud 25°33'24.0"N longitud 103°22'35.1"W.

El agua con arsénico se colocó en recipientes con capacidad de 20 L los cuales fueron previamente limpiados y desinfectados con cloro. El volumen de agua utilizado en cada recipiente fue de 17 L los cuales fueron distribuidos en 4 bloques. En las cuales posteriormente se introdujeron cuatro plantas de *Typha latifolia* de tres tamaños, chica mediana y grande en cada una de ellas. Previamente las plantas de *Typha latifolia* fueron lavadas con agua de la llave cuidadosamente (Figura 3).



Figura 3. Limpieza de la *Typha latifolia*

La toma del dato de la concentración de arsénico en el agua se realizó el día 24 de mayo del 2021, el siguiente muestreo ya con las plantas fue a los 10 días, la segunda lectura a los 20 días y finalmente el tercer muestreo a los 30 días. En cada muestreo fue extraída una planta para la determinación de arsénico en hoja y raíz (Figura 4).



Figura 4. Distribución de tratamientos.

Variables evaluadas:

- Contenido de arsénico en agua
- Contenido de arsénico en hoja
- Contenido de arsénico en raíz
- Contenido de arsénico total en planta
- pH en agua
- Conductividad en agua
- Sólidos totales en agua

### **Determinación de arsénico.**

La determinación de contenido de arsénico en agua y planta se realizó utilizando el arsenator modelo P2060136 de la marca wagtech (Figura 5). Dispositivo de prueba digital, pantalla LCD, portátil especial para uso en campo, simple, seguro y fácil de operar con resultados exactos entre el rango crítico de 2-100 ppm.

Los datos fueron determinados cada 10 días a partir de introducción de las plantas en el agua. pH, Conductividad, y sólidos totales.



### **Procedimiento para la determinación de arsénico en planta**

La muestra de planta fue colocada en bolsas de papel y colocadas en una estufa eléctrica marca Felisa modelo 293 (Figura 6), a una temperatura de 70 °C hasta alcanzar peso constante. Posteriormente las muestras de planta fueron molidas utilizando una licuadora hasta tener un polvo medianamente fino (figura 7). De las muestras molidas se tomaron 5 gr de cada una las cuales se colocaron en vasos de precipitado de 200 ml a los que se agregaron 50 ml de agua destilada (Figura 8). Enseguida se dejó reposar por 1 hora. Finalmente, después de la hora el contenido se pasó a un filtro para la remoción del material orgánico. El filtrado fue pasado a los tubos filling los cuales fueron colocados en un refrigerado para la posterior determinación de los parámetros evaluados (Figura 9).

### **Procedimiento para la lectura de pH, conductividad y solidos totales**

La lectura de los parámetros de pH, conductividad (ms/cm) y solidos totales (ppt), se hizo con un medidor portátil de la marca Hanna con modelo HI98130 (Figura 10), en donde este permite tener la lectura de estos parámetros a un intervalo alto, es impermeable, con un intervalo de conversión de pH de 0.00 a 14.00 pH y con 3 sensores en un solo medidor. Dicho medidor se estuvo calibrando con agua destilado después de cada lectura.



Figura 5. Arsenator, fotómetro digital portátil para medidor de arsénico.



Figura 6. Estufa para secados de muestra, marca Felissa.



Figura 8. Hoja medianamente molida



Figura 7. Preparación de muestras para las determinaciones.



Figura 10. Muestras de concentrado de raíz y hoja en los tubos filling



Figura 9. Medidor portátil de pH, conductividad, sólidos totales, marca Hanna

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Concentración de arsénico en hoja.

La concentración de arsénico en la hoja bajo los diferentes tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 1. El análisis estadístico detectó diferencia significativa entre tamaño de planta y días a muestreo. La planta chica presentó la mayor concentración de arsénico de 149.62 ppm superando a la planta mediana y grande que presentaron concentraciones similares de 66.55 y 59.66 ppm. La acumulación a los 10 días fue superior a la de los 20 días. En la interacción tamaño de planta y tiempo no se encontró diferencia. Fan *et al.*, 2021 reportan que las plantas disminuyen sus hojas en el periodo de crecimiento, por la presencia de arsénico afectando el crecimiento de la planta y por ende la eliminación de arsénico.

**Tabla 1. Concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) en hoja de diferente tamaño de planta y fecha de muestreo en *Typha latifolia*. UAAAN UL. 2021**

|                | 10 días | 20 días | 30 días  | Media    |
|----------------|---------|---------|----------|----------|
| Planta chica   | 102.22  | 101.66  | 245      | 149.62 a |
| Planta mediana | 77.5    | 60.5    | 61.67    | 66.55 b  |
| Planta grande  | 75.44   | 28      | 75.55    | 59.66 b  |
| Media          | 85.05 b | 63.38 c | 127.40 a |          |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Tukey  $\alpha = 0.05$

### Concentración de arsénico en raíz.

La concentración de arsénico en la raíz fue diferente en tamaño de planta y tiempo (Días a muestreo) no así para la interacción de ambos (Tabla 2). La mayor concentración de arsénico en raíz se presentó en planta grande seguida por mediana y finalmente planta chica con valores de 381.55, 249.78 y 182.33 ppm respectivamente. En acumulación en tiempo fue similar a los 20 y 30 días con concentraciones de 301.22 y 290.11. La menor concentración se presentó a los 10 días con 222.33 ppm. La interacción

de ambos factores no tuvo significancia. La capacidad de la planta de *Thypa latifolia* para la absorción de metales pesados es una opción debido a su alta acumulación en el sistema radicular (Chitimus *et al.*, 2019), los resultados obtenidos se confirman en este estudio.

**Tabla 2. Concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) en raíz de diferente tamaño de planta y fecha de muestreo en *Typha latifolia*. UAAAN UL. 2021.**

|                | 10 días  | 20 días  | 30 días  | Media    |
|----------------|----------|----------|----------|----------|
| Planta chica   | 128.33   | 134.67   | 284.00   | 182.33 c |
| Planta mediana | 147.67   | 388      | 213.67   | 249.78 b |
| Planta grande  | 391      | 381      | 372.67   | 381.55 a |
| Media          | 222.33 b | 301.22 a | 290.11 a |          |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Tukey  $\alpha = 0.05$

### Concentración de arsénico en planta

La concentración de arsénico en planta se presenta en Tabla 3. La concentración de arsénico fue mayor en planta grande con 441.22 siendo diferente a planta mediana y chica que presentaron concentraciones de 316.33 y 331.96 ppm. En tiempo la mayor concentración de arsénico se obtuvo a los 30 días seguida por 20 días y finalmente a los 10 días, con valores de 417.51, 364.61 y 307.38 (Tabla 3). No se detectó diferencia en la interacción de estos factores. La retención en raíces de *Typha latifolia* es mucha mayor en comparación de la hoja ya que esta cuenta con un transporte restringido de metales pesados hacia las hojas. Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con los reportados por Yang *et al.* (2020) quienes mencionan que entre mayor biomasa (Foliar) produce se mejora la fotosíntesis de la planta lo que provoca una mejor absorción y resistencia para la retención de metales pesados. La remoción de arsénico por *Thypa* es buena pero el nivel de saturación depende del estado de crecimiento de la planta por lo

que antes de ser alcanzarlo la planta deberá ser recolectada (Turker, 2016) lo cual se coincide con los resultados de este trabajo.

**Tabla 3. Concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) total en planta *Typha latifolia*. UAAAN.UL.21**

|                | 10 días  | 20 días     | 30 días  | Media    |
|----------------|----------|-------------|----------|----------|
| Planta chica   | 230.55   | 236.33      | 529      | 331.96 b |
| Planta mediana | 225.17   | 448.5       | 275.33   | 316.33 b |
| Planta grande  | 466.44   | 409         | 448.22   | 441.22 a |
| Media          | 307.38 c | 364.61<br>b | 417.51 a |          |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Tukey  $\alpha = 0.05$

### **pH en extracto de hoja y raíz**

En pH de extracto de hoja y raíz no se encontró diferencia entre tamaño de planta, tiempo de muestreo ni para la interacción tamaño de planta tiempo de muestreo (Tablas 4 y 5). En virtud de lo cual los factores evaluados no tuvieron ninguna influencia sobre el pH del extracto de hoja o raíz ya que la *Typha latifolia* presenta gran tolerancia a salinidad, por lo que puede estar expuesta a alto pH y efluentes de metales pesados (Hadad, 2018).

**Tabla 4. pH en el extracto de hoja de *Typha latifolia* de diferente tamaño de planta y tiempo de muestreo. UAAAN-UL. 2021**

|                | 10 días | 20 días | 30 días | Media |
|----------------|---------|---------|---------|-------|
| Planta chica   | 5.99    | 5.83    | 6.07    | 5.96  |
| Planta mediana | 5.56    | 5.72    | 5.80    | 5.69  |
| Planta grande  | 5.99    | 5.75    | 6.08    | 5.94  |
| Media          | 5.85    | 5.76    | 5.98    |       |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

DMS  $\alpha = 0.05$

**Tabla 5. pH en el extracto de raíz en la planta *Typha latifolia* de diferente tamaño y tiempo de muestreo. UAAAN-UL. 2021.**

|                | 10 días | 20 días | 30 días | Media |
|----------------|---------|---------|---------|-------|
| Planta chica   | 6.67    | 6.82    | 6.65    | 6.70  |
| Planta mediana | 6.05    | 6.33    | 5.73    | 6.03  |
| Planta grande  | 5.90    | 6.16    | 5.56    | 5.87  |
| Media          | 6.20    | 6.42    | 5.98    |       |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

DMS  $\alpha = 0.05$

### **Conductividad eléctrica en extracto de hoja**

La conductividad eléctrica fue similar entre tamaño de planta, pero no para tiempo de muestreo. La mayor conductividad se presentó a los 10 y 30 días con valores de 9.53 y 8.9 ds/cm. La menor conductividad eléctrica fue a los 20 días la cual fue similar a la de 30 días. No se detectó diferencia en la interacción tamaño de planta y tiempo de muestreo



(Tabla 6). Sin embargo, se reporta que esta no es afectada cuando se utilizan plantas acuáticas en la remoción de metales pesados (Obinna y Ebere, 2019).

**Tabla 6. Conductividad eléctrica en extracto de hoja de *Typha latifolia* en diferente tamaño de planta y tiempo de muestreo. UAAAN-UL. 2021.**

|                | 10 días | 20 días | 30 días | Media |
|----------------|---------|---------|---------|-------|
| Planta chica   | 9.803   | 5.583   | 7.074   | 7.48  |
| Planta mediana | 7.14    | 7.14    | 13.433  | 9.23  |
| Planta Grande  | 11.655  | 7.283   | 6.2     | 8.37  |
| Media          | 9.53 a  | 6.66 b  | 8.90 ab |       |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

DMS  $\alpha = 0.05$

#### **Conductividad eléctrica en extracto de raíz.**

La conductividad eléctrica en raíz en diferente tamaño de planta y tiempo de muestreo se presenta en Tabla 7. La mayor conductividad eléctrica se presentó en planta grande con 4.86 ds/cm superando a planta mediana y chica que fueron similares entre si con conductividades de 2.35 y 1.98 ms/cm. En la interacción de los factores no se detectó diferencia. Singh y Chakraborty (2021), reportan que la *Typha latifolia* no influye sobre los parámetros físico químicos, pero en este caso el estado de desarrollo de la planta si influyo en la conductividad eléctrica en el extracto de raíz.

**Tabla 7. Conductividad eléctrica en extracto de raíz de planta de *Typha latifolia* de diferente tamaño y tiempo de muestreo. UAAAN-UL. 2021.**

|                | 10<br>días | 20 días | 30<br>días | Media  |
|----------------|------------|---------|------------|--------|
| Planta chica   | 2.38       | 2.44    | 1.15       | 1.98 b |
| Planta mediana | 3.07       | 2.11    | 1.87       | 2.35 b |
| Planta Grande  | 5.97       | 3.55    | 5.07       | 4.86 a |
| Media          | 3.80 a     | 2.69 b  | 2.69 b     |        |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

DMS alfa = 0.05

### **Concentración de arsénico en agua**

En concentración de arsénico en agua el tamaño de planta y tiempo de muestreo si mostro diferencia significativa. La concentración de arsénico fue superior en el agua en se utilizó planta chica con 199.26 ppm seguida por planta mediana con 181.36 ppm y finalmente planta grande con 136.83 ppm siendo las tres diferentes. En tiempo de muestreo la mayor concentración de arsénico se presentó a los 30 dias con un valor de 204.58 /L, seguido por 20 dias con 168.10 /L y finalmente 10 dias con 91.75 /L. No se encontró diferencia en la interacción tamaño de planta y tiempo de muestreo (Tabla 8). La concentración de arsénico en el agua disminuyo al incrementarse el estado de desarrollo de la planta presentándose lo contrario al incrementarse el tiempo de muestreo. Los resultados obtenidos en este estudio fueron superiores al límite máximo permisible que establece la NOM-127-SSA-2019, cuyo valor es de 0.025 /L.

**Tabla 8. Concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) en el agua de diferente fecha de muestreo. UAAAN-UL.2021**

|                | 10 días  | 20 días  | 30 días  | Media    |
|----------------|----------|----------|----------|----------|
| Planta chica   | 179.44   | 190.56   | 227.5    | 199.16 a |
| Planta mediana | 162.83   | 182.5    | 198.75   | 181.36 b |
| Planta grande  | 91.75    | 131.25   | 187.5    | 136.83 c |
| Media          | 144.67 c | 168.10 b | 204.58 a |          |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

DMS alfa = 0.05

### pH en agua

En pH del agua no se encontró diferencia entre tamaño de planta y tiempo de muestreo, solamente en la interacción de ambos factores (Tabla 9). El pH más alcalino se presentó en la interacción planta chica y mediana a los 30 días. El pH más ácido en planta grande a los 10 días con un valor de 7.45. Estos resultados coinciden con lo reportado por Putri y Moersidik (2021), de que el pH se incrementa a mayor tiempo lo cual lo atribuye a la actividad fotosintética de planta.

**Tabla 9. pH en agua en diferente fecha de muestreo. UAAAN-UL.2021.**

|                | 10 días  | 20 días  | 30 días    | Media |
|----------------|----------|----------|------------|-------|
| Planta chica   | 7.74 d e | 7.84 c d | 7.95 a b c | 7.84  |
| Planta mediana | 7.65 e   | 7.89 b c | 8.05 a     | 7.86  |
| Planta grande  | 7.45 f   | 7.83 c d | 8.02 b     | 7.76  |
| Media          | 7.61     | 7.85     | 8.00       |       |
|                |          |          |            |       |

\*valores con la misma letra son estadísticamente iguales

DMS  $\alpha$  = 0.05

### Conductividad eléctrica en agua

La conductividad eléctrica del agua no encontró diferencia para tamaño de planta ni para la interacción tamaño de planta tiempo de muestreo solo para tiempo de muestreo Tabla 10. La mayor conductividad eléctrica se presentó en el agua a los 30 días seguida por 20 días y finalmente 10 días con valores de 1.05, 0.91 y 0.74 ds/cm respectivamente. Según él los estudios de Pincam *et al.* (2020) la *Typha latifolia* cambian el contenido clorofilo y con esto teniendo la capacidad de formar aerénquima haciendo que sea más resistente a altas concentraciones de agua residual y así liberando oxígeno favoreciendo a los tratamientos de conductividad eléctrica.

**Tabla 10. Conductividad eléctrica (ms/cm) en agua en diferente fecha de muestreo. UAAAN-2021.**

|                | 10 días | 20 días | 30 días | Media |
|----------------|---------|---------|---------|-------|
| Planta chica   | 0.62    | 0.87    | 1.03    | 0.84  |
| Planta mediana | 0.76    | 0.95    | 0.97    | 0.89  |
| Planta grande  | 0.84    | 0.91    | 1.16    | 0.97  |
| Media          | 0.74 c  | 0.91 b  | 1.05 a  |       |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

DMS  $\alpha = 0.05$

### Sólidos totales en agua

En sólidos totales no se encontró diferencia entre tamaño de planta ni para la interacción tamaño de planta y tiempo de muestreo solo para tiempo de muestreo (Tabla 11). Lo que indica que el tamaño de planta y tiempo de muestreo no incidieron sobre la presencia de sólidos totales en el agua. Resultados similares a los reportados por Alquwaizany *et al.* (2021) que no encontró diferencia en sólidos totales en su estudio.

**Tabla 11. Solidos totales (ppt) en el agua de diferente fecha de muestreo. UAAAN-UL.2021**

|                | 10 días | 20 días | 30 días | Media |
|----------------|---------|---------|---------|-------|
| Planta chica   | 0.33    | 0.43    | 0.51    | 0.41  |
| Planta mediana | 0.35    | 0.48    | 0.55    | 0.45  |
| Planta grande  | 0.42    | 0.46    | 0.57    | 0.48  |
| Media          | 0.35 c  | 0.46 b  | 0.54 a  |       |

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

DMS  $\alpha = 0.05$

## **CONCLUSIÓN**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio y condiciones bajo las cuales se condujo el trabajo se concluye:

La capacidad de remoción de arsénico de *Thypha latifolia* depende del tamaño de planta y tiempo de permanencia en el agua contaminada.

La mayor concentración de arsénico se presentó en el sistema radicular de la planta.

El pH, conductividad eléctrica y sólidos totales en el agua se incrementaron a mayor permanencia de planta en el agua.

## **RECOMENDACIONES**

Se considera necesario realizar un trabajo en cual se determine el tiempo requerido para que la planta de *Typha latifolia* alcance su saturación, lo cual indicaría cuando es necesario llevar a cabo su recolección y remoción.

## REFERENCIAS

- Adeloju, S. B., S. Khan y A. F. Patti 2021. "Arsenic Contamination of Groundwater and Its Implications for Drinking Water Quality and Human Health in Under-Developed Countries and Remote Communities—A Review." *applied sciences* 11: 1926.
- Alquwaizany, A., G. Hussain y A. I. Al-Zarah 2021. "Changes in Physico-Chemical Composition of Wastewater by Growing Phragmites australis and Typha in an Arid Environment in Saudi Arabia."
- Chaudhry, F. N. y M. J. J. E. E. Malik 2017. "Factors affecting water pollution: a review." 7: 1-3.
- Chitimus, A.-D., C. Radu, V. Nedeff, E. Mosnegutu y N. Bârsan 2016. "Studies and researches on typha latifolia's (bulrush) absorption capacity of heavy metals from the soil." *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry.* 17: 381.
- Chitimus, A. D., V. Nedeff, I. Sandu, C. Radu, E. Mosnegutu, I. G. Sandu y N. J. R. d. C. Barsan 2019. "Absorption capacity of heavy metals in the case of Typha latifolia plant species." 70: 3058-3061.
- Dorjderem, B., J. Torres-Martínez y J. J. E. R. Mahlke 2020. "Intensive long-term pumping in the Principal-Lagunera region aquifer (Mexico) causing heavy impact on groundwater quality." 6: 862-867.
- Gaballah, M. S., O. Abdelwahab, K. M. Barakat y D. Aboagye 2020. "A novel horizontal subsurface flow constructed wetland planted with Typha angustifolia for treatment of polluted water." *Environmental Science and Pollution Research* 27: 28449-28462.
- Gałczyńska, M., N. Mańkowska, J. Milke y M. Buśko 2019. "Possibilities and limitations of using Lemna minor, Hydrocharis morsus-ranae and Ceratophyllum demersum in removing metals with contaminated water." *Journal of Water Land Development*
- Herath, I., M. Vithanage, J. Bundschuh, J. P. Maity y P. J. C. p. r. Bhattacharya 2016. "Natural arsenic in global groundwaters: distribution and geochemical triggers for mobilization." 2: 68-89.
- Jha, P. K. y P. Tripathi 2021. "Arsenic and fluoride contamination in groundwater: A review of global scenarios with special reference to India." *Groundwater for Sustainable Development* 13: 100576.

- Kaur, P., S. Singh, V. Kumar, N. Singh y J. Singh 2018. "Effect of rhizobacteria on arsenic uptake by macrophyte *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms." *International Journal of Phytoremediation* 20: 114-120.
- Kulshrestha, A., U. Jarouliya, G. Prasad, S. Flora y P. S. J. W. J. o. T. M. Bisen 2014. "Arsenic-induced abnormalities in glucose metabolism: Biochemical basis and potential therapeutic and nutritional interventions." 3: 96-111.
- Kumar, V., R. D. Parihar, A. Sharma, P. Bakshi, G. P. S. Sidhu, A. S. Bali, I. Karaouzas, R. Bhardwaj, A. K. Thukral y Y. J. C. Gyasi-Agyei 2019. "Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses." 236: 124364.
- Leura-Vicencio, A., A. J. Alonso-Castro, C. Carranza-Álvarez, R. Loredó-Portales, M. C. Alfaro-De la Torre y R. F. García-De la Cruz 2013. "Removal and Accumulation of As, Cd and Cr by *Typha latifolia*." *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 90: 650-653.
- Lim, T. (2016). *Typha angustifolia*. Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants, Springer: 103-113.
- Liu, H., Z. Hu, Y. Zhang, J. Zhang, H. Xie y S. Liang 2018. "Microbial nitrogen removal of ammonia wastewater in poly (butylenes succinate)-based constructed wetland: effect of dissolved oxygen." *Appl Microbiol Biotechnol* 102: 9389-9398.
- Liu, J., Z. Zhang, Z. Yu, Y. Liang, X. Li y L. Ren 2017. "The Structure and Flexural Properties of *Typha* Leaves." *Applied Bionics and Biomechanics* 2017: 1249870.
- Lu, H., J. Li, X. Liu, Z. Yu y R. Liu 2019. "Removal of fluoride and arsenic by a hybrid constructed wetland system." *Chemistry biodiversity* 16: e1900078.
- Mahmoud, K. M. A., H. A. Mahmoud y S. S. M. Sayed 2018. "Potential role of *Ceratophyllum demersum* in bioaccumulation and tolerance of some heavy metals." 22: 1-12.
- Mamine, N., N. GRARA y F. J. S. U. V. G. S. Ş. V. KHALDI 2019. "The Use Of Macrophyte *Typha Latifolia* Filters In The Treatment Of Wastewaters Of Medjerda River, In Souk-Ahras City (North-East Algeria)." 29.
- Nicomel, N. R., K. Leus, K. Folens, P. Van Der Voort y G. Du Laing 2016. "Technologies for Arsenic Removal from Water: Current Status and Future Perspectives." 13: 62.
- Onyia, P. C., D. C. Ozoko y S. I. Ifediegwu 2020. "Phytoremediation of arsenic-contaminated soils by arsenic hyperaccumulating plants in selected areas of Enugu State, Southeastern, Nigeria." *Geology, Ecology, and Landscapes*: 1-12.



- Pincam, T., A. J. J. o. W. Jampeetong y E. Technology 2020. "Treatment of Anaerobic Digester Effluent Using Typha angustifolia L.: Growth Responses and Treatment Efficiency." 18: 105-116.
- Putri, M. P. y S. S. Moersidik (2021). Effectiveness of typha latifolia for phytoremediation of cadmium in acid mine drainage. Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing.
- Ramos-Arcos, S., S. López-Martínez, S. Lagunas Rivera, E. GONZÁLEZMONDRAGÓN, M. De La Cruz Leyva, J. J. A. E. Velázquez-Martínez y E. Research 2019. "Phytoremediation of landfill leachate using vetiver (Chrysopogon zizanioides) and cattail (Typha latifolia)." Applied Ecology and Environmental Research 17: 2619-2630.
- Redekop, T. B. 2019a. "Typha latifolia L. | common cattail." Logan Creek Decolonization Project Journal 2: 54-60.
- Redekop, T. B. J. L. C. D. P. J. 2019b. "Typha latifolia L. | common cattail." 2: 54-60.
- salud, S. d. 2019. "PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-127-SSA1-2017, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LÍMITES PERMISIBLES DE LA CALIDAD DEL AGUA."
- Sariñana-Ruiz, Y. A., J. Vazquez-Arenas, F. S. Sosa-Rodríguez, I. Labastida, M. A. Armienta, A. Aragón-Piña, M. A. Escobedo-Bretado, L. S. González-Valdez, P. Ponce-Peña y H. J. C. Ramírez-Aldaba 2017. "Assessment of arsenic and fluorine in surface soil to determine environmental and health risk factors in the Comarca Lagunera, Mexico." 178: 391-401.
- Saxena, G., D. Purchase, S. I. Mulla, G. D. Saratale y R. N. Bharagava (2020). Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Sites: Eco-environmental Concerns, Field Studies, Sustainability Issues, and Future Prospects. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 249. P. de Voogt. Cham, Springer International Publishing: 71-131.
- Sharma, S. y A. J. A. W. S. Bhattacharya 2017. "Drinking water contamination and treatment techniques." 7: 1043-1067.
- Shukla, A. y S. Srivastava (2017). Emerging aspects of bioremediation of arsenic. Green technologies and environmental sustainability, Springer: 395-407.
- Singh, S. y S. J. M. E. Chakraborty 2021. "Bioremediation of acid mine drainage in constructed wetlands: Aspect of vegetation (Typha latifolia), loading rate and metal recovery." 171: 107083.

- Stroppa, N., E. Onelli, M. Hejna, L. Rossi, A. Gagliardi, L. Bini, A. Baldi y A. Moscatelli 2020a. "Typha latifolia and Thelypteris palustris behavior in a pilot system for the refinement of livestock wastewaters: A case of study." *Chemosphere* 240: 124915.
- Stroppa, N., E. Onelli, M. Hejna, L. Rossi, A. Gagliardi, L. Bini, A. Baldi y A. J. C. Moscatelli 2020b. "Typha latifolia and Thelypteris palustris behavior in a pilot system for the refinement of livestock wastewaters: A case of study." 240: 124915.
- Syed, S., M. Xu, Z. Wang, C. Yu y B. Lian 2021. "Invasive *Spartina alterniflora* in controlled cultivation: Environmental implications of converging future technologies." *Ecological Indicators* 130: 108027.
- Thwala, M., S. Klaine y N. Musee 2021. "Exposure Media and Nanoparticle Size Influence on the Fate, Bioaccumulation, and Toxicity of Silver Nanoparticles to Higher Plant *Salvinia minima*." *Molecules* 26: 2305-2305.
- Valenzuela, I. A. N. J. A. R. C. d. N. A. 2021. "ARSÉNICO EN AGUA¿ UN PROBLEMA? EL CASO DE LA COMARCA LAGUNERA." 29: 29-30.
- Yang, G., H. Zhong, X. Liu, C. e. Liu, S. Li, L. Hou, Y. Liu, Y. Wang, W. Ren y C. Duan 2020. "Arsenic Distribution, Accumulation and Tolerance Mechanisms of *Typha angustifolia* in Different Phenological Growth Stages." *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology* 104: 358-365.
- Zhang, Y., B. Xu, Z. Guo, J. Han, H. Li, L. Jin, F. Chen y Y. Xiong 2019. "Human health risk assessment of groundwater arsenic contamination in Jinghui irrigation district, China." *Journal of Environmental Management* 237: 163-169.
- Zhou, Q. y S. Xi 2018. "A review on arsenic carcinogenesis: Epidemiology, metabolism, genotoxicity and epigenetic changes." *Regul Toxicol Pharmacol* 99: 78-88.