

Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Facultad de Ciencias Agrarias



Trabajo final de grado

**“Evaluación de la capacidad fitorremediadora de *Phormium tenax*,  
*Phormium rubra*, *Paspalum haumanii* y *Hemerocallis fulva* y efecto del  
plomo, cadmio y cromo en su crecimiento y desarrollo”**

Autor: Lomuoio, Rodrigo Alejandro

Director: Ing. Zootecnista, Dr. Huarte Roberto

Codirectora: Ing. Agrónoma, Dra. García María Dina

2022

## ÍNDICE GENERAL

Carátula.....	I
Índice general.....	II
Índice de figuras.....	III
<b>1. Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>3. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
3.1. Objetivos generales.....	7
3.2. Objetivos específicos.....	7
<b>4. Hipótesis.....</b>	<b>8</b>
<b>5. Materiales y Métodos</b> .....	<b>8</b>
5.1. Condiciones generales del experimento.....	8
5.2. Variables de estudio.....	9
<b>6. Resultados y discusión.....</b>	<b>9</b>
6.1. Producción de biomasa.....	9
6.2. Área foliar.....	12
6.3. Metales en el suelo.....	15

6.4.	Metales	en	la
hoja.....			16
7.			
Conclusión.....			17
8.		Consideraciones	
finales.....			18
9. Bibliografía.....			18

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Especies utilizadas en este estudio: <i>Phormium tenax</i> (A), <i>Phormium rubra</i> (B), <i>Hemerocallis fulva</i> (C) y <i>Paspalum haumanii</i> (D).....	7
---	---

<b>FIGURA 2.</b> Biomasa seca (g) de plantas de <i>Hemerocallis fulva</i> cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). La presencia de EDTA en la solución aplicada podría provocar una mayor disponibilidad de los metales pesados por parte de la planta y así reducir su crecimiento.....	10
--	----

<b>FIGURA 3.</b> Biomasa seca (g) de plantas de <i>Phormium tenax</i> cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada	
--	--

columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). No se encuentran diferencias entre los tratamientos.....11

**FIGURA 4.** Biomasa seca (g) de plantas de *Phormium rubra* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). No se encuentran diferencias entre los tratamientos.  
.....11

**FIGURA 5.** Biomasa seca (g) de plantas de *Paspalum haumanii* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). Una mayor absorción de metales pesados pudo haberse dado en el tratamiento con EDTA debido a que aumenta la disponibilidad de metales para las plantas en la solución del suelo, reduciendo su biomasa aérea.  
.....12

**FIGURA 6.** Área foliar (cm<sup>2</sup>) de plantas de *Hemerocallis fulva* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias

significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10).  
 .....13

**FIGURA 7.** Área foliar ( $\text{cm}^2$ ) de plantas de *Phormium tenax* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). No se encuentran diferencias entre los tratamientos.....  
 .....14

**FIGURA 8.** Área foliar ( $\text{cm}^2$ ) de plantas de *Phormium rubra* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). No se encuentran diferencias entre los tratamientos.....  
 .....14

**FIGURA 9.** Concentración de Zn, Cr, Cu y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en el suelo de los diferentes tratamientos, en las cuatro especies. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). El Cr fue el metal de mayor concentración en los suelos de las cuatro especies, esto podría tener relación con el agregado de este metal por parte de la solución de riego.....  
 .....16

**FIGURA 10.** Concentración de Zn, Cr, Cu y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en las hojas de *Phormium tenax*, *Phormium rubra*, *Hemerocallis fulva* y *Paspalum haumanii*. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras

diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). Cr y Pb fueron los metales pesados de mayor presencia en las hojas de las cuatro especies, mientras que Zn y Cu presentaron una concentración

menor.....17

### ABREVIATURAS

Cr..... Cromo

Cd..... Cadmio

Pb..... Plomo

Cu..... Cobre

Hg..... Mercurio

Zn..... Zinc

Al.....Aluminio

Fe.....Hierro

Ni..... Níquel

Se.....Selenio

As.....Arsénico

CO<sub>2</sub>..... Dióxido de carbono

H<sub>2</sub>O..... Agua

mM..... milimolar

EDTA..... Ácido etilendiaminotetraacético

EDDS..... Ácido SS- etilendiaminodisuccínico

## 1. RESUMEN

La cuenca Matanza-Riachuelo es uno de los cursos hídricos más contaminados del mundo. Atraviesa la Capital Federal y 14 localidades del Gran Buenos Aires. La cuenca se utiliza desde hace años como sumidero de residuos contaminantes provenientes de curtiembres, frigoríficos e industrias de todo tipo. La remediación de la contaminación del agua y del suelo mediante plantas puede ser un método de bajo costo y muy eficiente con la especie vegetal adecuada, esta técnica comprende el uso de plantas, algas y los microorganismos asociados para remover contaminantes del suelo, agua y aire. Para que esta técnica sea efectiva se necesita que las especies utilizadas produzcan gran biomasa aérea y un sistema radicular desarrollado. En ese contexto, el uso de especies ornamentales representa una opción interesante para considerar. Con el objetivo de evaluar la respuesta de las especies ornamentales *Phormium tenax*, *Phormium rubra*, *Paspalum haumanii* y *Hemerocallis fulva* a concentraciones de metales pesados presentes comúnmente en el agua de la cuenca Riachuelo-Matanza, las plantas se sometieron a tres tratamientos, *i.e.* un control con agua corriente, una solución de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y una solución de metales pesados (Cd, Cr, Pb) más EDTA. Los resultados indican que la solución de metales pesados (Cd, Cr, Pb) más EDTA redujo la biomasa y el área foliar de las especies, pero no de manera significativa. Esto podría indicar que el uso de estas especies como fitorremediadoras podría ser viable.

Palabras clave: Fitorremediación; Contaminación; Matanza-Riachuelo; Metales pesados.

## 2. INTRODUCCION

La cuenca Matanza-Riachuelo abarca aproximadamente 2.200 km<sup>2</sup>, tiene una longitud de 64 km y un ancho de 35 km (Arauz *et al*, 2002). Es sin duda uno de los sistemas hídricos de mayor interés para el país por el impacto ambiental que ha sufrido. La Cuenca ocupa parte de la Capital Federal y de 14 localidades del Gran Buenos Aires y sufre un gran impacto antrópico. Su curso es el más contaminado del país y ha sido calificado como uno de los treinta sitios más contaminados del mundo (Maciel y Groisman, 2001; INDEC, 2010). Dentro de la Cuenca se pueden distinguir tres áreas: Cuenca Alta, Cuenca Media y Cuenca Baja. Esta división se debe a razones geográficas, económicas, políticas, sociales y a las diversas problemáticas que atraviesan las regiones (Acumar, 2016). En el transcurso de los últimos cien años, la Cuenca ha sido usada como sumidero cloacal de toda la ciudad de Buenos Aires. Los

niveles de contaminación fueron aumentando de manera constante junto con la urbanización del área metropolitana de Buenos Aires y el crecimiento industrial (Gobierno de la Nación, 2022). La cuenca Matanza-Riachuelo recibe diversos impactos contaminantes asociados al vertido de líquidos residuales, crudos o con insuficiente grado de tratamiento, de orígenes domiciliarios y provenientes de múltiples actividades productivas, agroindustriales e industriales (Cattaneo y Sardi; 2013). Además de altos niveles de contaminación orgánica, estos vertidos aportan contaminantes tóxicos tales como metales pesados provenientes de industrias petroquímicas, curtiembres y frigoríficos (Pasqualini *et al*, 2019). Los metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a  $5 \text{ g cm}^{-3}$  cuando están en forma elemental (Vardanyan y Ingole, 2006). Muestran una elevada tendencia a bioacumularse y a biomagnificarse a través de su paso por los distintos eslabones de las cadenas tróficas. En concentraciones elevadas, ocasionan graves problemas en el desarrollo, crecimiento y reproducción de los seres vivos (Roy *et al.*, 2005).

Los metales pesados como cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn), níquel (Ni), selenio (Se), arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), etc. no se degradan biológicamente ni en la naturaleza, por lo que se consideran tóxicos para la mayor parte de los organismos vivos (Leland *et al*, 1999; Gastañadui, 2003).

Ante la creciente emisión al ambiente de sustancias contaminantes, se vienen desarrollando nuevas tecnologías como la fitorremediación por representar una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos (Singh y Jain, 2003; Reichenauer y Germida, 2008). El término fitorremediación comprende el uso de plantas, algas y los microorganismos asociados para remover contaminantes del suelo, agua y aire para dejar el ambiente limpio (Pilon-Smits, 2005). Se han propuesto en diferentes investigaciones el uso de conceptos como niveles de fondo o de referencia para establecer las concentraciones de un elemento con un grado de confianza significativo (Horckmans *et al.*, 2005; Peris, 2006; Micó *et al.*, 2007). Los niveles de referencia son la máxima concentración admisible sin que se produzcan efectos adversos sobre los organismos en el suelo, y tienen en cuenta aspectos como la biodisponibilidad de los metales, sus propiedades fisicoquímicas y los usos del suelo (Alloway 1995; Micó *et al.*, 2007). La reducción del contenido de metales pesados hasta niveles óptimos permitiría la reutilización del suelo tratado con un fin agrícola, forestal, hortícola o lúdico, evitando la transferencia de éstos a aguas subterráneas o zonas cercanas por acción del viento y/o erosión del agua (Baker *et al.*, 2000; Schat *et al.*, 2000; Macnair,

2003). Estas pautas están basadas principalmente en las propiedades del suelo y el efecto de los metales pesados sobre la calidad de agua, en la actividad de los microorganismos en los suelos, en la salud humana y en los rendimientos y calidad de las cosechas. Han sido formulados tres valores para evaluarla calidad de los suelos. Los valores A (definidos como el límite superior de concentración frecuente de metales pesados encontrados en suelos), valores de B (definidos como el nivel aceptable de metales pesados en suelos), y valores de C (niveles excesivos de metales pesados en el suelo) (Prieto Méndez *et al.*, 2009). Para que esta técnica sea efectiva, se requieren especies vegetales con gran producción de biomasa aérea, para acumular mayor cantidad de metal y facilitar su cosecha con técnicas agrícolas tradicionales, y de un sistema radicular bien desarrollado que explore y limpie extensas áreas de suelo. También es conveniente que la planta a utilizar presente una tasa de crecimiento elevada (Meagher *et al.*, 2000; Barceló *et al.*, 2001 y 2003). Según Thangavel y Subhuram (2004), dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del sitio y el nivel de limpieza requerido, las tecnologías de fitorremediación se pueden utilizar como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización). La fitoestabilización permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces, o bien por precipitación en la zona de la rizósfera. Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire (Barton *et al.*, 2005; Mendez y Maier, 2008). Por otro lado, la rizofiltración utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz (Dushenkov *et al.*, 1995). En la rizofiltración las plantas se cultivan de manera hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan. A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final (Nedelkoska y Doran, 2000; Eapen *et al.*, 2003; Cherian y Oliveira, 2005). La fitoextracción o fitoacumulación consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. Una vez completado el desarrollo vegetativo de la planta, el siguiente paso es cortarlas y proceder a su incineración y traslado de las cenizas a un vertedero de seguridad. La fitoacumulación se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración remanente de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados como aceptables (Kumar *et al.*, 1995). La fitovolatilización se produce a medida que los árboles y otras plantas en crecimiento absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera (Prasad y Freitas, 2003). En la fitodegradación, las

plantas y los microorganismos asociados a ellas degradan los contaminantes orgánicos en productos inofensivos, o bien los mineralizan hasta dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). En este proceso los contaminantes son metabolizados dentro de los tejidos vegetales (Singh y Jain, 2003). La fitoinmovilización provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación (Carpena y Bernal, 2007).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo hacia las aguas subterráneas y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Burt *et al.*, 2003). Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo, pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004).

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de intercambio (catiónico y/o aniónico), presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, entre otras. La naturaleza de la contaminación y el origen de los metales y formas de deposición y condiciones medio ambientales producen acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad en los suelos (Sauquillo *et al.*, 2003). En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio; la segunda, específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo; la tercera, asociados con la materia orgánica del suelo y la cuarta, precipitados como sólidos puros o mixtos. Por otra parte, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005).

La fitoextracción asistida por quelatos está basada en el hecho de que la aplicación de agentes quelantes a un suelo contaminado puede favorecer la acumulación de metales por las plantas (Garbisu y Alkorta, 2001). La adición de agentes quelantes y la consecuente formación de complejos metal-quelato previene la precipitación y adsorción de los metales en el suelo, manteniendo de este modo su disponibilidad para la absorción de la planta (Norwell, 1984). Se han reportado muchos estudios

sobre la fitoextracción asistida por quelatos (Chiu *et al.*, 2006). Sin embargo, la mayoría de los reportes de investigación, indica al EDTA (Ácido etilendiaminotetraacético) y al EDDS (ácido SS- etilendiaminodisuccínico) como los principales quelatos aplicados en estos estudios, siendo estos los que más exitosamente han mejorado la absorción de metales por las plantas (Chen *et al.*, 2004).

Varias especies vegetales han sido reportadas con estas capacidades. Por ejemplo, algunas forrajeras como *Tripsacum dactyloides* (Sung *et al.* 2004) y *Panicum virgatum* (Euliss *et al.* 2008; Murphy y Coats, 2011). En efecto en experiencias realizadas en los EE. UU. fue descrita la capacidad de estas especies para remediar suelos con metales pesados y derivados del petróleo. Asimismo, *Sorghum bicolor* y *Chrysopogon zizanioides* mostraron capacidad para acumular Pb en concentraciones cercanas a  $300 \mu\text{g g}^{-1}$  en tejidos aéreos al crecer en suelos contaminados; valor que se incrementó hasta  $1000 \mu\text{g g}^{-1}$  utilizando agentes quelantes (Freitas *et al.*, 2013). *Tagetes patula*, si bien esta especie se destaca principalmente como acumuladora de Cd, se ha demostrado que puede acumular también Pb en tejidos aéreos hasta alcanzar una concentración de  $120 \mu\text{g g}^{-1}$  (Sun *et al.*, 2011). *Brassica juncea* presenta valores de acumulación de Pb en la parte aérea de hasta  $1000 \mu\text{g g}^{-1}$  cuando se cultiva en condiciones hidropónicas, pero que no superan los  $100 \mu\text{g g}^{-1}$  cuando se la cultiva en suelos contaminados con el metal (Tangahu *et al.*, 2011). Experimentos realizados por Papazoglou *et al.* (2011), en *Cynara cardunculus* reportaron que tanto el crecimiento como el desarrollo no se vieron afectados por la presencia de Cd en el rango de 0 hasta  $1,6 \text{ g l}^{-1}$  de solución (Cd). En cambio, la presencia de Ni en dosis superiores a  $0,1 \text{ g l}^{-1}$  ejercieron una reducción del crecimiento y desarrollo. En la Argentina existen antecedentes de ensayos de especies nativas como *Tagetes minuta* L y *Biden pilosa* que demostraron tener capacidad fitorremediadora al poder desarrollarse y crecer en suelos con concentraciones elevadas de Pb (Salazar *et al.*, 2014). También, se presentan ensayos de especies alimenticias como *Allium fistulosum* y *Origanum vulgare* (Rios Medrano *et al.*, 2019), que cultivadas en sustrato e hidroponia, reportan un porcentaje de extracción de Pb de un 87,5% y 86,4% respectivamente. La evaluación de plantas comúnmente usadas en espacios públicos y de escaso mantenimiento podría ser una elección interesante para evaluar cómo se comportan en presencia de algunos de los contaminantes comunes en zonas contaminadas de la cuenca Matanza-Riachuelo aunque esta experiencia aun no fue realizada. Bajo esta premisa, las especies utilizadas en este estudio fueron *Phormium tenax*, *Phormium rubra*, *Paspalum haumanii* y *Hemerocallis fulva*.

Estas dos especies del género *Phormium* (nombre vulgar Formio), pertenecen a la familia Agavaceae, provienen de Nueva Zelanda. Poseen tallos cortos, robustos, con hojas ensiformes de color verde oscuro, aplanadas hacia el ápice, terminadas en puntas agudas. Son hojas erectas, rígidas, con una altura de entre 100 a 300 cm, de 5 a 12 cm de ancho. Se disponen sobre un rizoma horizontal corto, grueso, que se ramifica, formando en pocos años densos matorrales (Brescia, 1969; Wagner *et al.*, 1999). Para el crecimiento del Formio no se requiere un clima específico, aunque se desarrolla mejor en climas templados y húmedos, de preferencia no tropicales. Puede crecer en todos los suelos, pero se adapta mejor a suelos profundos, de moderada humedad y bien drenados. En su país de origen se encuentra en lugares entre 0 y 1200 msnm, con promedios de temperatura que pueden llegar a ser superiores a 18 °C y con una precipitación de 500 a 3800 mm (Brescia, 1969; Fernwood, 2010).

*Paspalum haumanii* (nombre vulgar Paspalum) pertenece a la familia Poáceas, es una especie nativa del noroeste argentino y países limítrofes. Las plantas pueden crecer hasta 200 cm de altura y 250 cm de diámetro. Es una gramínea perenne cuyo follaje se mantiene verde todo el año, posee hojas erectas y semicurvadas, formando matas de gran porte (Zuloaga y Morrone, 2005). Las plantas pueden crecer a pleno sol o media sombra, resisten bien el frío. Los suelos sueltos, bien drenados y húmedos favorecen su crecimiento, posee rizomas y estolones cortos y un sistema radicular profundo que lo hace resistente a la sequía. Inicialmente tiene un crecimiento lento pero una vez implantada es invasora (Burkart, 1969).

*Hemerocallis fulva* (nombre vulgar Lirio de un solo día) pertenece a la familia Hemerocallidaceae, es originaria de China. Es una planta herbácea, bulbosa, erguida y no ramificada. Crece entre 30 y 80 cm de altura, tiene flores vistosas y numerosas hojas, lisas y lineales. Es de climas templados y se reproduce fácilmente plantando sus bulbos (Lorenzi *et al.*, 2008).



Figura 1. Especies utilizadas en este estudio: *Phormium tenax* (A), *Phormium rubra* (B), *Hemerocallis fulva* (C) y *Paspalum haumanii* (D).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad fitorremediadora de las especies *Phormium tenax*, *Phormium rubra*, *Paspalum haumanii* y *Hemerocallis fulva* a concentraciones de metales pesados presentes comúnmente en el agua de la cuenca Matanza-Riachuelo y, además, la oportunidad de su utilización como especies ornamentales.

#### 3.2. Objetivos específicos

Comparar la producción de biomasa seca de *Phormium tenax*, *Phormium rubra*, *Paspalum haumanii* y *Hemerocallis fulva* y el área foliar de *Phormium tenax*, *Phormium rubra* y *Hemerocallis fulva* cultivadas con una solución control, una solución de metales pesados (Cr, Cd, Pb) y otra de metales pesados (Cr, Cd, Pb) más EDTA.

Evaluar la concentración de metales pesados (Cr, Cd, Pb) presentes en el suelo de los tres tratamientos y en los tejidos aéreos de las especies vegetales una vez finalizado el ensayo.

#### 4. HIPÓTESIS

La producción de biomasa seca y área foliar de las especies vegetales se verá disminuida por el agregado de metales pesados (Cr, Cd, Pb) en la solución de riego. El agregado de EDTA a dicha solución disminuirá aún más el crecimiento de las plantas al permitir una mayor concentración de metales en la solución del suelo.

La concentración de metales pesados en el suelo del tratamiento con metales pesados será mayor debido a la ausencia de EDTA.

La concentración de metales pesados en los tejidos vegetales aéreos será mayor en el tratamiento de metales pesados y metales pesados más EDTA, en comparación al tratamiento control al actuar dichas especies como acumuladoras de estos metales.

#### 5. MATERIALES Y MÉTODOS

##### 5.1. Condiciones generales del experimento

El estudio se realizó desde el 16 de noviembre de 2018 hasta el 11 de abril de 2019 en el invernáculo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, bajo condiciones semicontroladas. Las especies evaluadas fueron *Phormium tenax*, *Phormium rubra*, *Paspalum haumanii* y *Hemerocallis fulva*. Las plantas fueron provistas por la Municipalidad de Lomas de Zamora. Una vez recibidas las plantas de *Phormium* se transfirieron a macetas de plástico de 20 l y las de *Paspalum* y *Hemerocallis* a macetas de 10 l. Las macetas contenían un 70% de sustrato comercial que fue mezclado previamente con un 30% de perlita. Las plantas se expusieron a tres tratamientos: un control que consistió con riegos con agua corriente, un tratamiento con una solución combinada de metales pesados (Cr, Cd, Pb) y por último una solución similar con el agregado de EDTA. Para la preparación de las soluciones de metales pesados se partió de una solución madre 10 mM de Cr, Cd y Pb, posteriormente, esta solución madre se diluyó hasta una concentración final de 0,1 mM (Cr: 2,7 mg l<sup>-1</sup>, Cd: 11,24 mg l<sup>-1</sup>, Pb: 22,32 mg l<sup>-1</sup>) siendo este valor consistente con los descritos por la Autoridad de la Cuenca Matanza Riachuelo (Acumar, 2012) (i.e. Cd

0,0073111 mg l<sup>-1</sup>, Cr ≤ 0,0025 mg l<sup>-1</sup> y Pb ≤ 0,00159 mg l<sup>-1</sup>). Para la solución de metales pesados (Cr, Cd, Pb) más EDTA se realizó la misma dilución de la solución madre y se le agregó 5 ml de EDTA (EDTA: 37,224 mg l<sup>-1</sup>). Las soluciones se aplicaron 3 veces a la semana, a las macetas de 20 l se les aplicó el riego con un volumen de 1000 ml y a las macetas de 10 l, con un volumen de 500 ml. El diseño experimental utilizado fue un DCA con 5 repeticiones por cada uno de los 3 tratamientos. Asimismo, para evitar pérdidas por drenaje de las soluciones aplicadas, las macetas se colocaron sobre bandejas plásticas que se mantenían constantemente con un nivel de agua de 5 cm para mantener hidratado el suelo. Durante enero y febrero se utilizó una media sombra para disminuir la temperatura dentro del invernáculo.

## 5.2. Variables de estudio

Para evaluar la evolución del área foliar de cada especie y tratamiento utilizado, se realizó una medición mensual de área foliar de cada planta, esta medición se llevó a cabo midiendo el ancho y el largo de cada hoja con una cinta métrica. Para evaluar el efecto del tratamiento sobre la producción de biomasa, una vez finalizado el experimento, el material aéreo se cortó y se llevó a una estufa de secado ajustada a 60 °C hasta peso constante. Para evaluar el contenido de los metales pesados incorporados con el riego y, además, Zn y Cu se tomó una muestra de suelo de dos macetas por especie y tratamiento seleccionadas al azar, para lograr obtener resultados aleatorios al momento de realizar las evaluaciones. Las muestras se enviaron al Laboratorio de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires para su análisis. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (P<10%) y se realizó un test de Duncan.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Producción de Biomasa

La biomasa acumulada (g) en *Hemerocallis fulva* mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,1$ ) (Figura 2). El tratamiento de metales pesados (Cr, Cd, Pb) más EDTA fue el que menor biomasa acumuló, mostrando diferencias significativas con el tratamiento de metales pesados, que fue el que más biomasa generó. Con respecto al control, no presentó diferencias significativas con los demás tratamientos. Ghnaya *et al*

(2007) encontró una reducción significativa de la tasa de crecimiento relativa de plantas tratadas con Cd respecto a las plantas control; en forma similar, Banerjee y Sarker (1997) obtuvieron resultados similares para *Salvinia rotundifolia* después de estar en contacto con Pb durante 6 días. Los valores negativos de este índice en los tratamientos con agregado de metales podrían explicarse por el incremento de hojas senescentes con respecto al tratamiento control (Davidson y Campbell, 1984).

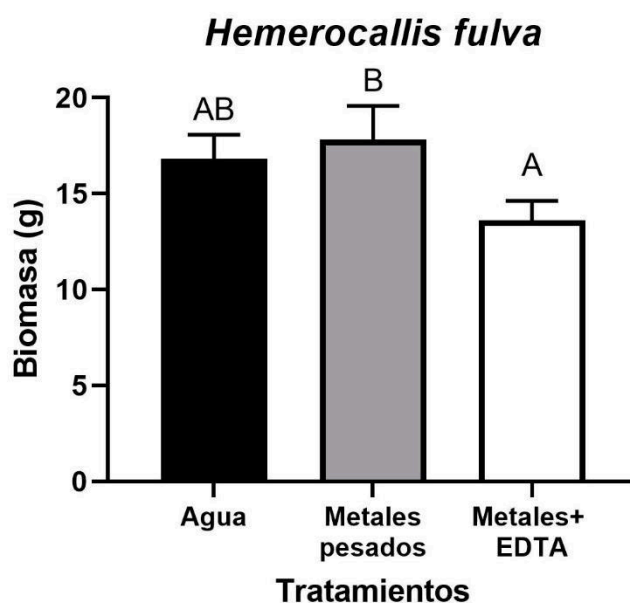


Figura 2. Biomasa seca (g) de plantas de *Hemerocallis fulva* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). La presencia de EDTA en la solución aplicada podría provocar una mayor disponibilidad de los metales pesados por parte de la planta y así reducir su crecimiento.

En cuanto al *Phormium tenax* y *Phormium rubra*, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,1$ ) (Figuras 3 y 4). Esto podría tener relación con los resultados obtenidos en bioensayos de germinación en respuesta a diferentes concentraciones de Cd, donde resaltan que esta especie podría ser tolerante a los contaminantes metálicos del suelo (West, 2015). Además, en otro estudio realizado en la Universidad de Lincoln, Nueva Zelanda, sobre la capacidad fitorremediadora de especies nativas (*Phormium tenax*) demostró que la concentración de Cd en ellas es

hasta 10 veces mayor que en plantas exóticas como el Rye grass (*Lolium perenne*) (Hahner, 2012).

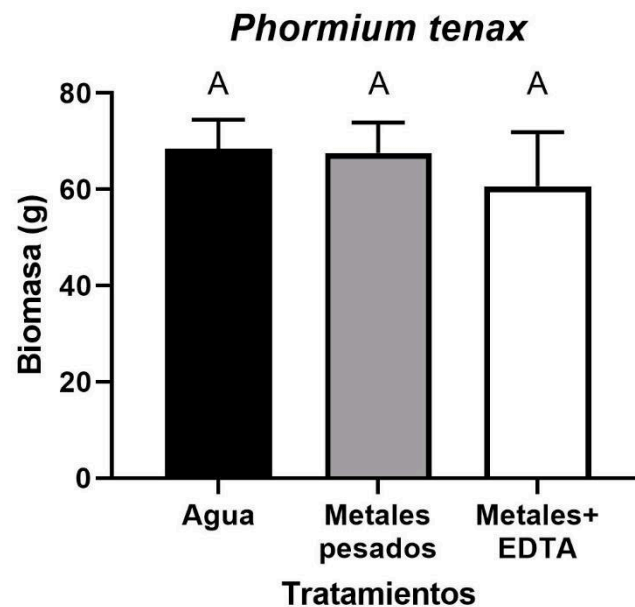


Figura 3. Biomasa seca (g) de plantas de *Phormium tenax* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). No se encuentran diferencias entre los tratamientos.

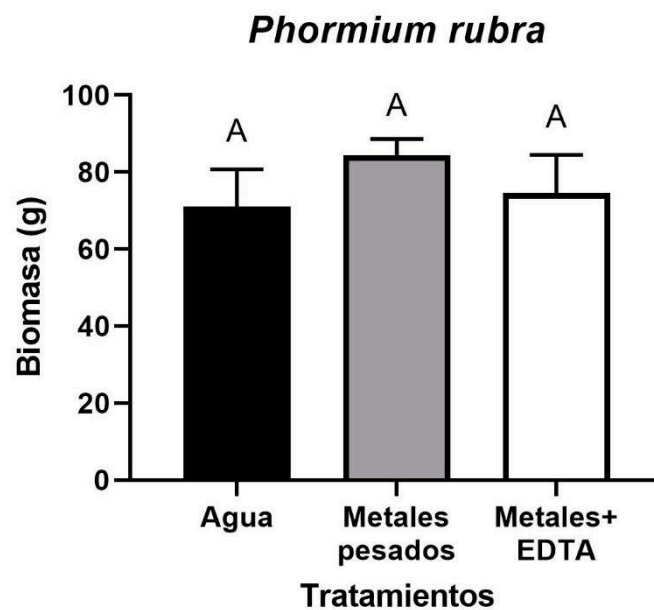


Figura 4. Biomasa seca (g) de plantas de *Phormium rubra* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). No se encuentran diferencias entre los tratamientos.

El peso seco de *Paspalum haumanii* presentó diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,1$ ) (Figura 5). El tratamiento control y el de metales pesados no presentaron diferencias entre ellos, pero sí con el tratamiento EDTA, que arrojó los valores de biomasa más bajos. Esto podría tener relación con otros trabajos presentados sobre el género *Paspalum* y su crecimiento en presencia de metales pesados en el suelo. Una investigación del Proyecto BIOREM (Mendieta y Taisigue, 2015) ha identificado a *Paspalum conjugatum* con potencial de acumulación de plata (Ag), Cr, Hg, Se y Cd y de traslocación de Cr (tallos, hojas y flores) y Zn (flores). Además, se comprobó la capacidad de *Paspalum depauperatum* de acumular Pb y Cd en la raíz (Acuña, 2017).

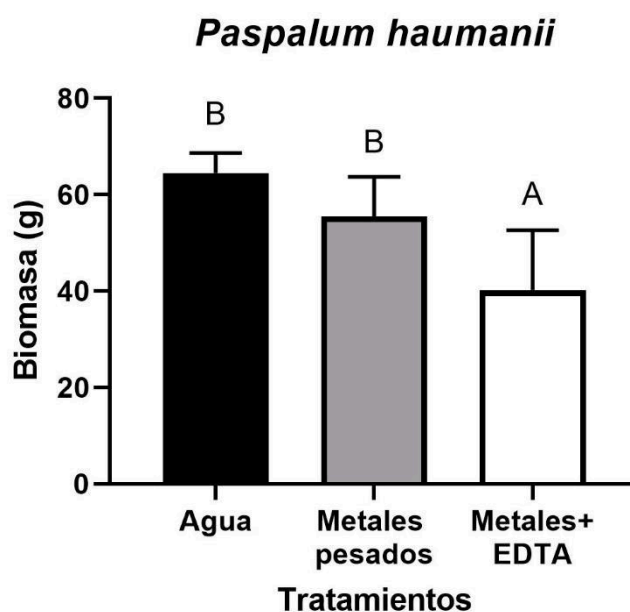


Figura 5. Biomasa seca (g) de plantas de *Paspalum haumanii* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). Una mayor absorción de metales pesados pudo haberse dado en el tratamiento con EDTA debido a que aumenta la disponibilidad de metales para las plantas en la solución del suelo, reduciendo su biomasa aérea.

## 6.2. Área foliar

Los resultados de área foliar promedio ( $\text{cm}^2$ ) en *Hemerocallis fulva* mostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,1$ ) (Figura 6). El tratamiento con metales pesados presentó una mayor área foliar promedio en relación al control y a metales pesados más EDTA. Sin embargo, entre éstos últimos, no se encontraron diferencias significativas. Barcelo & Porschenrieder (1990) informaron que el estrés por metales pesados en plantas sensibles puede inducir una serie de eventos que llevan a la disminución de la pérdida de agua, por ejemplo mediante una reducción en el número y tamaño de hojas. De acuerdo con Tooke *et al* (2005) el estrés por metales pesados causa retraso en la floración ya que la formación de flores esta directamente relacionada con las condiciones ambientales. Otros autores (Brun *et al*, 2003; Ryser y Sauder, 2006), también encontraron un recambio mas lento de las hojas debido al retraso y reducción de la floración.

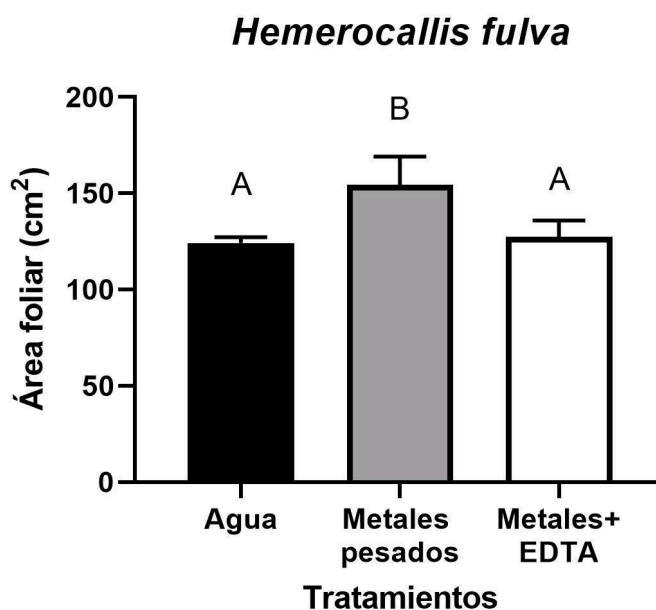


Figura 6. Área foliar ( $\text{cm}^2$ ) de plantas de *Hemerocallis fulva* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10).

El área foliar promedio en *Phormium tenax* y *Phormium rubra* no se vio afectada en ninguno de los tres tratamientos, por lo tanto, no presentaron diferencias significativas

( $p > 0,1$ ) en ninguna de las dos especies (Figura 7 y 8). Estos datos ayudan a reforzar las hipótesis de resistencia a los metales pesados por parte de estas especies.

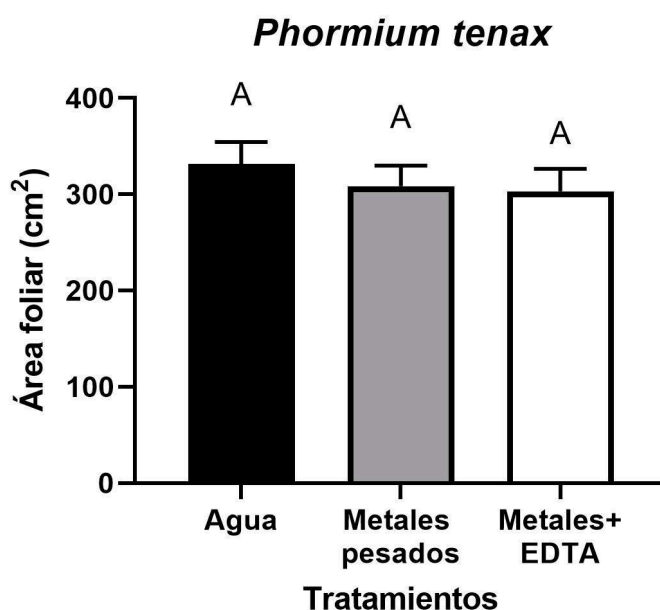


Figura 7. Área foliar (cm<sup>2</sup>) de plantas de *Phormium tenax* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). No se encuentran diferencias entre los tratamientos.

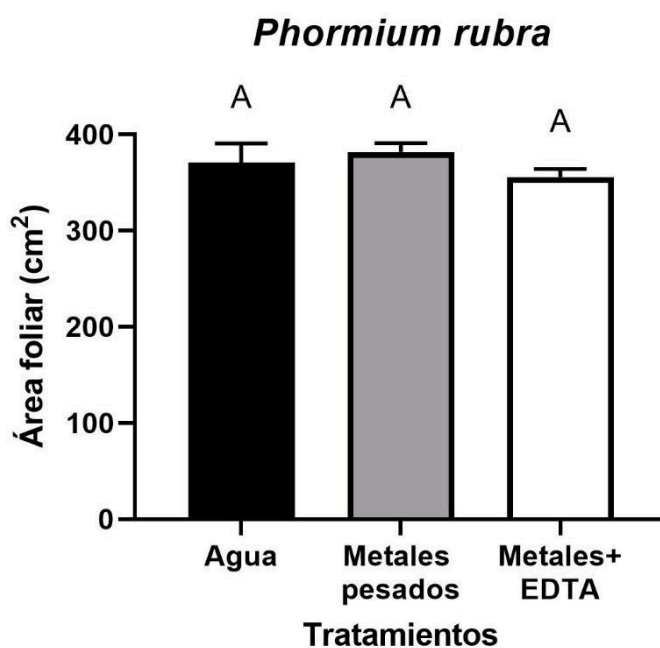


Figura 8. Área foliar (cm<sup>2</sup>) de plantas de *Phormium rubra* cultivadas expuestas a los siguientes tratamientos: I) agua corriente (control), II) solución 0,1 mM de metales pesados (Cd, Cr, Pb) y III) una solución de metales pesados 0,1 mM más 5 ml EDTA. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). No se encuentran diferencias entre los tratamientos.

### 6.3. Metales pesados en el suelo

En cuanto al análisis de metales pesados en el suelo, podemos ver que *Phormium rubra* presentó diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) entre los cuatro metales pesados, siendo el Cr el de mayor presencia en el suelo, y el Zn el de menor presencia. En cambio, *Phormium tenax* presentó diferencias significativas ( $p < 0,1$ ) solo en Cr y Cu, siendo el Cr, el de mayor presencia en el suelo; por otro lado, Zn y Pb no presentan diferencias significativas entre ellos. *Paspalum haumanii* y *Hemerocallis fulva* presentaron diferencias significativas entre los metales pesados ( $p < 0,1$ ) siendo el Cr el de mayor concentración y el Zn el de menor presencia en el suelo, en cambio Cu y Pb presentaron concentraciones similares. Un ensayo realizado con *Paspalum racemosum* demostró concentraciones mayores de aluminio (Al) y hierro (Fe) en la parte radicular en comparación con la parte aérea, lo cual indicaría una baja movilidad de Al y Fe desde la raíz hacia la parte aérea y una relativa inmovilización de estos metales pesados en la raíz (Reyes, 2017). La mayor concentración de Cr en el suelo de las cuatro especies podría deberse al agregado de este metal en la solución de riego (Figura 9).

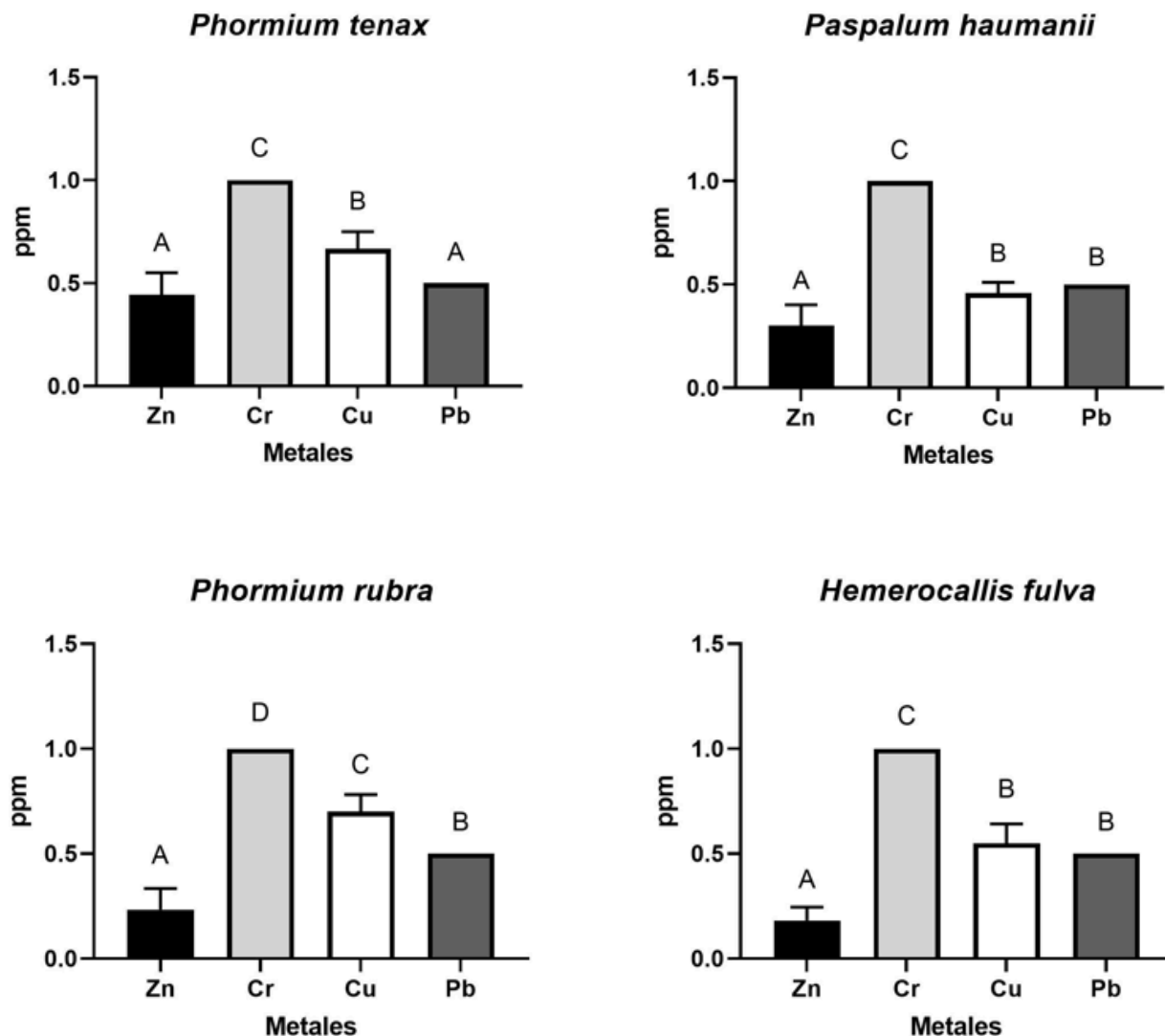


Figura 9. Concentración de Zn, Cr, Cu y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en el suelo de los diferentes tratamientos, en *Phormium tenax*, *Phormium rubra*, *Hemerocallis fulva* y *Paspalum haumanii*. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). El Cr fue el metal de mayor concentración en los suelos de las cuatro especies, esto podría tener relación con el agregado de este metal por parte de la solución de riego.

#### 6.4. Metales pesados en la hoja

Los metales en la hoja no presentaron diferencias significativas entre las especies ( $p > 0,1$ ) pero si entre los metales, siendo el Cr y Pb los de mayor concentración dentro de las hojas, en cambio Zn y Cu presentaron una concentración menor. El hecho de que las concentraciones de Cd sean demasiado bajas como para presentar resultados podría deberse a que la movilidad y la disponibilidad de Cd para las plantas pueden

estar limitadas en suelos de tierras húmedas (Kabata-Pendias y Mukherjee, 2007) (Figura 10).

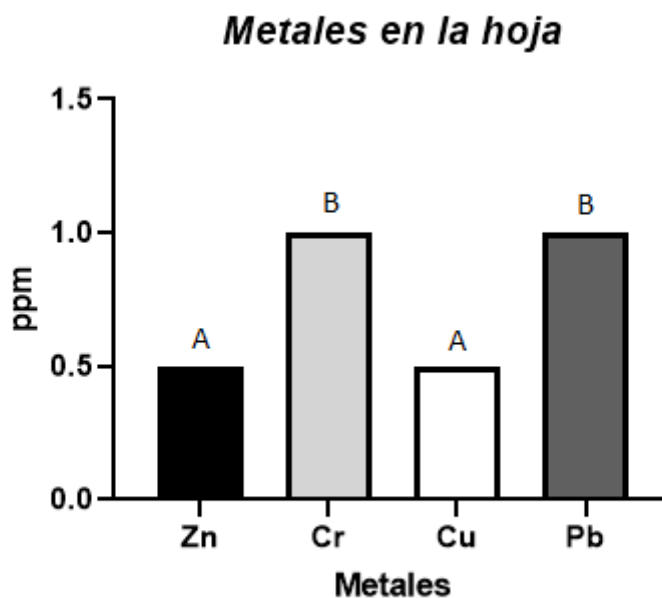


Figura 10. Concentración de Zn, Cr, Cu y Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en las hojas de *Phormium tenax*, *Phormium rubra*, *Hemerocallis fulva* y *Paspalum haumanii*. Barras verticales por encima de cada columna representan al EEM. Letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con el Test de Duncan (0,10). Cr y Pb fueron los metales pesados de mayor presencia en las hojas de las cuatro especies, mientras que Zn y Cu presentaron una concentración menor.

## 7. CONCLUSIÓN

El tratamiento con metales pesados (Cr, Cd, Pb) no redujo la biomasa seca ni el área foliar de las especies, pero si lo logró el tratamiento de metales pesados (Cr, Cd, Pb) más EDTA, sin embargo, no se redujeron de manera significativa. Esto podría explicarse debido a que el EDTA es un agente quelante, y por lo tanto, deja disponible para la planta una mayor concentración de metales pesados en la solución del suelo.

La concentración de metales pesados en el suelo de los tres tratamientos no presentó diferencias significativas, pero si se encontraron diferencias significativas entre las

especies. Podría estar relacionado a una diferencia en la capacidad fitorremediadora entre las especies estudiadas.

La concentración de metales pesados en las hojas no presentó diferencias entre los tratamientos, ni tampoco entre las especies. El hecho de que esto no ocurra, demuestra que la posibilidad de considerar a estas especies con propósitos de fitorremediación podría ser válida en conjunto con el embellecimiento del paisaje.

## 8. CONSIDERACIONES FINALES

Sin embargo, creemos necesario considerar que probablemente la sensibilidad del método de laboratorio utilizado no fue suficiente para medir la concentración de los metales pesados y hallar diferencias entre los tratamientos. Como fue descrito en materiales y métodos las plantas crecieron en condiciones semicontroladas. Si bien este ambiente presenta algunos cambios en relación con las condiciones externas, no consideramos que pueda haber ejercido algún tipo de modificación sobre la performance de las plantas. En la misma línea, consideramos que sería útil una evaluación por un período de tiempo más extenso para poder ampliar la validez de las conclusiones obtenidas.

Un aspecto no evaluado en este estudio fue la eventual modificación en la capacidad de rebrotar de las diferentes especies de acuerdo con los tratamientos aplicados.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Acumar, 2012. "Medición del estado del agua superficial y subterránea, análisis e interpretación de los resultados", Dirección general técnica, coordinación de calidad ambiental. Informe trimestral de enero – marzo 2012, pp. 19-20.
- Acumar, 2016. Inventario nacional de humedales, proceso iniciado por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Disponible en: <https://www.acumar.gob.ar/caracteristicas-cuenca-matanza-riachuelo/>
- Acuña L. M. 2017. "Capacidad acumuladora de la raíz de *Paspalum depauperatum* L. al plomo y cadmio, en condiciones de laboratorio", pp. 1-3.

- Alloway, B.J. 1995. "Heavy Metals in Soils Blackie Academic and Professional", London, UK. pp. 96.
- Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D. and Smith, J.A.C. 2000. "Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils". En: Phytoremediation of Contaminated Soil and Water, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA. pp. 85-107.
- Banerjee, G. and Sarker S. 1997. "The role of *Salvinia rotundifolia* in scavenging aquatic Pb(II) pollution: a case study". *Bioprocess Eng.* 17:295-300.
- Barceló J. and Poschenrieder C. 1990. "Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review". *J. Plant Nutr.* 13:1-3.
- Barceló J. and Poschenrieder, C. 2003. "Phytoremediation: principles and perspectives. Contributions to Science". Institut d'Estudis Catalans, Barcelona. 2(3): 333-344.
- Barceló, J., Poschenrieder, C., Lombini, A., Llugany, M., Bech, J. y Dinelli, E. 2001. "Mediterranean plant species for phytoremediation". En: Abstracts Cost Action 837 WG2 workshop on "Phytoremediation of Trace Elements in Contaminated Soils and Waters with Special Emphasis on Zn, Cd, Pb and As". Ed. Universidad Complutense Madrid, Faculty of Chemistry, Madrid pp.23.
- Barton, C., Marx, D., Adriano, D., Jun-Koo, B., Newman, L., Czapka, S., Blake, J. 2005. "Phytostabilization of a landfill containing coal combustion waste". *Environmental Geosciences.* 12: 251-265.
- Brescia R. 1969. "Formio: No solo ornamental", en Estéves R., "Almanaque del banco de seguros del estado". Banco de seguros del estado, Montevideo, Uruguay, pp. 248-251.
- Brun L.A.; Le Corf J. and Maillet J. 2003. "Effects of elevated soil copper on phenology, growth and reproduction of five ruderal plant species". *Environ. Pollut.* 122: 361368.
- Burkart, A. 1969. "Flora ilustrada de Entre Ríos (Argentina)". Gramíneas. Colección Científica INTA. Tomo VI. Parte II. pp. 551.
- Burt, R., Wilson, M.A., Keck, T.J., Dougherty, B.D., Strom, D.E. and Lindahl, J.A. 2003. "Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in

- Anaconda and Deer Lodge Valley”, Montana, USA. *Advances in Environmental Research*, 8: 51- 67.
- Carpena, R. O. y Bernal, M. P. 2007. “Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos”. *Ecosistemas*. 16: 1-3.
- Cattaneo M. y Sardi E. 2013. “Evolución de la calidad del agua de la cuenca Matanza-Riachuelo”, pp. 253.
- Chen, Y., Li, X., and Shen, Z. 2004. “Leaching and uptake of heavy metal by ten different species of plants during an EDTA assisted phytoextraction process”. 57, s.l.: *Chemosphere*, pp. 187-671.
- Cherian, S. and Oliveira, M. 2005. “Transgenic plants in phytoremediation: recent advances and new possibilities”. *Environmental Science & Technology*. 39: 9377-9390.
- Chiu, K.K., Ye, Z.H., Wong, M.H. 2006. “Growth of *Vetiveria zizanioides* and *Phragmites australis* on Pb/Zn mine tailings amended with manure compost and sewage sludge: A greenhouse study”. 97, s.l.: *Bioresource Technology*, pp. 158-170.
- Davidson, H. R. and Campbell C.A. 1984. “Growth rates, harvest index and moisture use of Manitou spring wheat as influenced by nitrogen, temperature and moisture”. *Can. J. Plant Sci.* 64:825-39.
- Dushenkov, V., Kumar, P. B., Motto, H., Raskin, I. 1995. “Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams”. *Environmental Science & Technology*. 29:1239-1245.
- Eapen, S., Suseelan, K., Tivarekar, S., Kotwal, S., Mitra, R. 2003. “Potential for rhizofiltration of uranium using hairy root cultures of *Brassica juncea* and *Chenopodium amaranticolor*”. *Environmental Research*. 91:127-133.
- Euliss, K. 2008. “Greenhouse and field assessment of phytoremediation for petroleum contaminants in a riparian zone”. *Bioresource Technology*, 99(6), pp.1961–1971.
- Fernwood nursery. 2010. “Phormium cultivation”. Disponible en: <http://www.fernwood-nursery.co.uk/phormium/2phcultiv.htm>.
- Freitas, E., Nascimento, C., Silva, W. 2013. “Citric Acid-Assisted Phytoextraction of Lead in the Field: The Use of Soil Amendments”. *Water, Air, & Soil Pollution* 225, pp. 1-9.

- Garbisu, C. and Alkorta I. 2001. "Phytoextraction: A cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment". 77, s.l.: Bioresource Technology, pp. 229-236.
- García, I. y Dorronsoro, C. 2005. "Contaminación por Metales Pesados". En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es>.
- Gastañadui, H. 2003. "Evaluación de la Contaminación Ambiental por metales pesados en playas del distrito de Salaverry". Tesis de doctorado en Ciencias. Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. Pp. 56-58.
- Ghnaya, T., Slama I., Messedi D., Grignon C., Ghorbel M.H. and Abdelly C. 2007. "Cd-induced growth reduction in the halophyte *Sesuvium portulacastrum* is significantly improved by NaCl". J. Plant Res. 120:309-316.
- Gobierno de la Nación, 2022. "Proyecto desarrollo sustentable de la cuenca Matanza-Riachuelo". Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/agua/matanza-riachuelo/desarrollosustentable>
- Hahner J. L., 2012. "The potential of native plants to manage nutrient and contaminant fluxes from New Zealand dairy farms", pp. 47.
- Horckmans, L., R. Swennen, J. Deckers, and R. Maquil. 2005. "Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Duchy of Luxembourg". CATENA 59:279-304.
- INDEC. 2010. Dirección General de Estadística y Censos. Ministerio de Hacienda, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.
- Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A. 2007. "Trace elements from soil to human: Springer-Verlag". Berlin Heidelberg. pp. 35.
- Kumar, P. B. A. N., Dushenkov, V., Motto, H., Raskin, I. 1995. "Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils". Environmental Science & Technology. 29: 1239-1245.
- Leland, H.V., Copenhaver, E.D. Wilfer D.J. 1999. "Heavy Metal and other trace elements". J Water & Pollut; 17: 1635-1656.
- Lorenzi, H.; Souza, H.M. 2008. "Plantas ornamentais no Brasil". Instituto Plantarum de estudos da flora Ltda. 4. Ed. Nova Odessa, SP, pp. 738

- Maciel, M. y Groisman, V. 2001. "Cuenca hídrica Matanza–Riachuelo", En: La Gran Ciudad N° 1. Buenos Aires, Fundación Metropolitana. pp. 15
- Macnair, M.R. 2003. "The hyperaccumulation of metals by plants. *Advances in Botanical Research*" 40: 63-105.
- Meagher, R.B., Rugh, C.L., Kandasamy, M.K., Gragson, G. y Wang, N.J. 2000. "Engineered phytoremediation of mercury pollution in soil and water using bacterial genes". En: "Phytoremediation of Contaminated Soil and Water" (eds. Terry, N. y Bañuelos, G.), Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA. pp. 201-220.
- Mendez, M. O. and Maier, R. M. 2008. "Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments-An Emerging Remediation Technology". *Environ Health Perspect.* 116: 278-283.
- Mendieta, C. y Taisigue, K. 2015. "Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas de la zona minera de Chontales". pp. 86.
- Micó, C., M. Peris, L. Recatalá, and J. Sánchez. 2007. "Baseline values for heavy metals in agricultural soils in an European Mediterranean region". *Science of the Total Environment* 378:13-17.
- Murphy, I.J. and Coats, J.R. 2011. "The capacity of switchgrass (*Panicum virgatum*) to degrade atrazine in a phytoremediation setting". *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(3), pp.715–722.
- Nedelkoska, T. V. and Doran, P. M. 2000. "Hyperaccumulation of cadmium by hairy roots of *Thlaspi caerulescens*". *Biotechnology and Bioengineering*. 67: 607-615.
- Norwell, W.A. 1984. "Comparison of chelating agents as extractants for metals in diverse soil materials". 48, s.l.: Soil Science Society of America Journal, 1285-1292.
- Pagnanelli, F., Moscardini, E., Giuliano, V. and Toro, L. 2004. "Sequential Extraction of Heavy Metals in River Sediments of an Abandoned Pyrite Mining Area: Pollution Detection and Affinity Series". *Environmental Pollution*, 132:189-201.

- Papazoglou, E.G. 2011. "Responses of *Cynara cardunculus* L. to single and combined cadmium and nickel treatment conditions". *Ecotoxicol Environ Saf* 74:195–202.
- Pasqualini, M. F., Montania E. F., Hepp Y., Antolini L., Finkelstein J. Z., García S. I. 2019. "Mapa de riesgo sanitario ambiental de la Cuenca-Matanza Riachuelo (Argentina). Una metodología para priorizar intervenciones", Dirección de Salud y Educación Ambiental de la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo, p. 150.
- Peris, M. 2006. "Estudio de Metales Pesados en Suelos bajo Cultivos Hortícolas de la Provincia de Castellón". Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Valencia. España. pp. 436.
- Pilon-Smits, E. 2005. "Phytoremediation". *Annual Review Plant Biology* 56: 15-39.
- Prasad, M. N. V. and Freitas, H. M. O. 2003. "Metal hyperaccumulation in plants-biodiversity prospecting for phytoremediation technology". *Journal of Molecular Biology & Genetics*. 6: 276-312.
- Prieto Méndez, J; González Ramírez, C. A.; Román Gutiérrez, A. D.; Prieto García, F. 2009. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua", *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, pp. 32.
- Reichenauer, T. and Germinda J. 2008. "Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwater". *ChemSusChem*, 1: 708-717.
- Reyes, L.R. 2017. "Evaluación de la capacidad fitorremediadora de especies de las riberas del Río Santa para la remoción de metales pesados", Tesis de grado, UNASAM, Facultad de ingeniería ambiental, pp. 94.
- Rios Medrano M., Lacava J., Curotto I., Fuks L., Gargarello R. 2019. "Acumulación de plomo en especias: potencial para procesos de fitorremediación de suelos urbanos contaminados en Argentina", pp. 32.
- Roy, S., Labelle, S., Mehta, P., Mihoc, A., Fortin, N., Masson, C., Leblan, R., Cha, G., Sura, C., Gallipeau, C., Olsen, C., Delisle, S., Labrecque, M., Greer, C. W. 2005. "Phytoremediation of heavy metal and PAH contaminated brownfield sites". *Plant and Soil*. 272: 277-290.

- Ryser P. and Sauder W.R. 2006. "Effects of heavy-metal-contaminated soil on growth, phenology and biomass turnover of *Hieracium piloselloides*". *Environ. Pollut.* 140:52-61.
- Salazar M. J., Pignata M. L., Reyna S. 2014. "Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Evaluación de especies nativas en la provincia de Córdoba", pp. 75-76.
- Sauquillo, A., Rigol, A. and Rauret, G. 2003. "Overview of the use of Leaching Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments". *Trends in Analytical Chemistry*, 22: 152-159.
- Schat, H., Llugany, M. and Bernhard, R. 2000. "Metal-specific patterns of tolerance, uptake and transport of heavy metals in hyper accumulating and non hyper accumulating metallophytes". En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA. pp. 171-200.
- Singh, O.V., Jain, R. K. 2003. "Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil". *Applied and Microbiology Biotechnology*. 63: 128-135.
- Sun, Y., Zhou, Q., Xu, Y., Wang, L., Liang, X. 2011. "Phytoremediation for contaminated soils of benzo[a]pyrene (B[a]P) and heavy metals using ornamental plant *Tagetes patula*". *Journal of Hazardous Materials* 186, 2075-2082.
- Sung, K. 2004. "Phytoremediation and modeling of contaminated soil using eastern gamagrass and annual ryegrass". *Water, Air, and Soil Pollution*, 159(1), pp.175–195.
- Tangahu, B.V., Abdullah, S., Rozaimah, S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M. 2011. "A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation". *International Journal of Chemical Engineering*. pp. 80-86.
- Thangavel, P. and Subhram, C. V. 2004. "Phytoextraction – Role of hyper accumulators in metal contaminated soils". *Proceedings of the Indian National Science Academy. Part B*. 70(1):109-130.
- Tooke F., Ordidge M., Chiurugwi T. and Battey N. 2005. "Mechanisms and function of flower and inflorescence reversion". *J. Exp. Bot.* 56:2587-2599.

- Vardanyan, L. G. and Ingole, B. S. 2006. "Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems". *Environment International*. 32: 208-218.
- Wagner W., Herbst D., Sohmer S. 1999. "Manual of the Flowering Plants of Hawaii", Honolulu, Hawaii, pp. 1356-1357.
- West M. 2015. "Investigating the seed germination and phytoremediation potential of New Zealand native plants in metal contaminated soils", pp. 84.
- Zuloaga, F. O. y Morrone, O. 2005. "Revisión de las especies de *Paspalum* para América del Sur Austral (Argentina, Bolivia, sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay)", *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard*, pp. 55-56.