

---

## **Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia**

---

### **Angie Alejandra Quiroga-Santana**

UNIMINUTO- Colombia. Agroecological Engineer.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7225-2512>

[aquirogasa2@uniminuto.edu.co](mailto:aquirogasa2@uniminuto.edu.co)

### **Oscar Rodriguez-Velasquez**

UNIMINUTO- Colombia. Agroecological Engineer student.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5430-5745>

[orodrigue65@uniminuto.edu.co](mailto:orodrigue65@uniminuto.edu.co)

### **Daniel Augusto Acosta Leal**

UNIMINUTO- Colombia. Agronomic Engineer. PhD. (C).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6135-7439>

[Daniel.acosta@unimunto.edu](mailto:Daniel.acosta@unimunto.edu)

### **Karina Susana Pastor-Sierra**

Universidad del Sinú. Biologist. PhD. (C).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6129-3666>;

[kpastor@unbosque.edu.co](mailto:kpastor@unbosque.edu.co)

### **Camilo José González-Martínez**

UNIMINUTO- Colombia. Environmental Engineer. PhD. (C).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7051-147X>

[camilo.gonzalez@unimunto.edu](mailto:camilo.gonzalez@unimunto.edu)

**Abstract:** *Cadmium (Cd) is a metal with high toxicity, released into the environment through anthropogenic activities, which has posed a growing challenge for environmental quality and food safety. In recent years, phytoremediation has been mainly analyzed as profitable and efficient biotechnology, used for the stabilization or remediation of soils contaminated with heavy metals. The objective*

***Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia***

*is to provide a phytoremediation prospective analysis as a mechanism for the removal of heavy metals such as cadmium with plants. This study was identifying different heavy metals accumulating plants related in agricultural soil of the municipality of Mosquera Cundinamarca, Colombia, due to the impact of irrigation with wastewater from the middle basin of the Bogotá River through the Irrigation District "La Ramada.". This water presents high levels of contamination and is used by horticultural farms, causing the loss of food quality. This research presents a comparative table of 12 species of phytoremediation plants, identifying the *Urtica dioica* L., *Taraxacum officinale* Weber ex FH Wigg. Moreover, *Sinapis alba* L. as the most suitable species to treat the contamination of the agricultural land of Mosquera-Colombia by phytoremediation.*

**Keywords:** *Irrigation district, Heavy metals; Phytoextraction; Phytotechnology; Río Bogotá.*

**Análisis prospectivo de especies fitorremediadoras de suelos agrícolas contaminados con cadmio en el área de influencia del distrito de riego “La Ramada” en Mosquera- Cundinamarca**

**Resumen:** *El cadmio (Cd) es un metal con toxicidad alta, liberado en el medio ambiente a través de actividades antropogénicas, lo cual ha planteado un desafío cada vez mayor para la calidad ambiental y la seguridad alimentaria. En años recientes, la fitorremediación ha sido particularmente analizada por ser una biotecnología rentable y eficiente, utilizada para la estabilización o remediación de suelos contaminados con metales pesados. El objetivo de esta revisión es proporcionar un análisis prospectivo sobre la fitorremediación y su mecanismo para la remoción de metales pesados como el cadmio, identificando diferentes plantas acumuladoras de este metal presente en el suelo agrícola del municipio de Mosquera Cundinamarca, debido al impacto de*

*irrigación con aguas residuales de la cuenca media del río Bogotá a través del Distrito de Riego “La Ramada”, agua que presenta altos niveles de contaminación y es utilizada por los agricultores en cultivos hortícolas, causando la pérdida de la calidad de estos productos y afectando la salud de quien los consume de forma fresca. La investigación se basó en literatura científica, mediante una revisión sistémica en la cual se sintetiza la evidencia disponible para el presente estudio, se obtuvo como resultado la tabulación comparativa de 12 especies de plantas fitorremediadoras, identificando a *Urtica dioica* L., *Taraxacum officinale* Weber ex F.H. Wigg. y *Sinapis alba* L. como las especies más aptas para tratar la contaminación del suelo agrícola en Mosquera.*

**Palabras Claves:** *Distrito de riego; Fitoextracción; Fitotecnología; Metales pesados; Río Bogotá.*

## **1. Introducción**

La contaminación del suelo con metales pesados ha aumentado significativamente en las últimas décadas debido a la aplicación de herbicidas, insecticidas, fungicidas, fertilizantes, incineradores de residuos, riego de aguas residuales, residuos de la minería metalífera y la fundición de metales, afectando la sostenibilidad y funcionalidad de este recurso no renovable (Alonso et al., 2018; Farag, Nasr, & Okbah, 2015; Shi & Cai, 2009; Stingu, Volf, Popa, & Gostin, 2011; Weissmannová & Pavlovský, 2017), se consideran sustancias potencialmente peligrosas liberadas por la actividad antropogénica, generando un problema ambiental crítico debido a la grave amenaza para la producción de cultivos, la seguridad alimentaria y la salud humana (Horta et al., 2015).

Entre los metales pesados, el cadmio (Cd) es considerado una amenaza importante para la salud de los seres humanos, ya que su toxicidad y movilidad son muy altas en los sistemas suelo-planta (Beltrán & Gómez, 2016), su disponibilidad en el suelo se origina

de manera natural o antrópica (Sánchez, 2016), esta última contribuye más del 90% ( $5.6-38 \times 10^6$  kg/año) de la contaminación total de Cd en el mundo (M. A. Khan, Khan, Khan, & Alam, 2017) y no experimenta degradación microbiana o química. La exposición alta de niveles de Cd en suelos arables se debe al riego con agua contaminada, la cual conlleva a la acumulación considerable de Cd en partes comestibles de cultivos (Uraguchi & Fujiwara, 2012), esta exposición puede transferirse fácilmente a la cubierta vegetal y, finalmente, ingresar a la cadena alimentaria causando diversidad de riesgos perjudiciales para la salud, que comprenden disfunción renal, osteoporosis, cáncer y enfermedades cardiovasculares (Clemens, Aarts, Bastien Thomine, & Verbruggen, 2013; Nawrot et al., 2010). La vía de riesgo principal asociada con los suelos contaminados con Cd es suelo-planta-humano y el consumo del cultivo o subproductos producidos en estos suelos conduce a su biomagnificación en la cadena alimentaria (Cristaldi et al., 2017). Es necesario, por lo tanto, tomar medidas para reducir los riesgos potenciales para la salud del medio ambiente y la seguridad alimentaria.

Los procesos de descontaminación de suelo por metales son muy estudiados y proponen buscar la recuperación y no la destrucción de los suelos, desarrollando una serie de técnicas in situ o ex situ, que incluyen medidas físicas, químicas, biológicas y las combinaciones de ellas, para remediar la contaminación por metales pesados en el suelo (Hurtado, 2011; Ortiz, 2017; Velásquez, 2017).

La fitorremediación es una tecnología de recuperación “verde” rentable y ecológica con enfoque holístico que usa a las plantas (Pandey, Bajpai, & Singh, 2015). La limpieza ambiental con tratamiento in situ de suelos, sedimentos y aguas contaminadas, que ha surgido como una forma más económica, no invasiva y aceptable para abordar la eliminación de contaminantes ambientales (Sarwar

et al., 2017; Shiliang, Shafaqat, Rongjie, Jianjun, & Bo, 2019; Y. Su, F. Han, S. Shiyab, 2007).

Las plantas pueden extraer Cd del suelo por medio de la raíz usando la vía apoplástica y simplástica, transportándose por el xilema a brotes y hojas donde se acumula. La absorción de cadmio se produce debido a la similitud química con el zinc, haciendo que las señales redox cambien hacia el estrés oxidativo acelerando el daño celular y provocando en la planta un mecanismo de defensa que reduce el crecimiento (Irfan, Hayat, Ahmad, & Alyemeni, 2013). Las plantas utilizadas para la fitorremediación deben ser de crecimiento rápido, raíces profundas, propagarse fácilmente y acumular el metal objetivo.

La acumulación de este metal pesado en los suelos agrícolas, como se mencionó anteriormente, se debe a recursos hídricos contaminados utilizados en el riego de cultivos, representando así una gran amenaza; un distrito de riego (según la agencia de desarrollo rural ADR), es la delimitación del área de influencia de las obras de infraestructura hidroagrícola, como vaso de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos que en su conjunto están destinados a proporcionar el servicio permanente de irrigación, drenaje y protección contra inundaciones, con el propósito de elevar la productividad agropecuaria (CAR, 2010; Gobernación de Cundinamarca, 2017).

El Distrito de Riego la Ramada se encuentra embalsado dentro de la cuenca media del Río Bogotá, en esta zona se presenta la mayor producción de cultivos de especies vegetales a mediana y gran escala de manera intensiva en capital y tecnología, para suplir la demanda del mercado local y nacional (CAR, 2010, 2011); la calidad del agua del distrito se ve afectada por vertimientos de aguas residuales domésticas en la cuenca alta y baja del Río Bogotá, y por vertimientos industriales en su cuenca media, que incluyen

contaminantes como nitrógeno, sulfuros, material orgánico, contaminación microbiológica, sales minerales y metales pesados, recibiendo el río un total de 51,62 t/mes de estos últimos (CAR, 2009).

El objetivo de esta investigación es llevar a cabo un análisis prospectivo de especies fitorremediadoras de suelos agrícolas contaminados con Cadmio (Cd) en el área de influencia del distrito de riego “La Ramada” en el municipio de Mosquera Cundinamarca; ayudando a satisfacer las necesidades futuras al brindar información pertinente a los responsables de la formulación de políticas y otros actores que intervienen en la iniciativa de la toma de decisiones, mediante la anticipación de competencias en cultivos de importancia con el fin de brindar una solución viable a futuro, ya que el cadmio al estar presente modifica las condiciones naturales del agroecosistema y medio ambiente, lo que conlleva a adversidades en la salud de los seres vivos presentes.

## **2. Materiales y métodos**

La investigación se basó en literatura científica, mediante una revisión sistémica en la cual se sintetiza la evidencia disponible, realizándose un informe de aspectos relevantes para el presente estudio; se ha sintetizado la información existente respecto a fitorremediación, suelos contaminados con cadmio, afectaciones a la salud y adaptándolo a la zona de interés que corresponde al municipio de Mosquera y el distrito de riego “La Ramada”.

### **2.1. Caracterización de Mosquera y distrito de riego “La Ramada”**

Se consultó los archivos oficiales de la alcaldía de Mosquera para caracterizar el municipio y dar contexto sobre las condiciones edafoclimáticas predominantes en la zona. Se usó la información suministrada por la Corporación Autónoma Regional –CAR para

identificar el área de influencia y funcionamiento del distrito de riego “La Ramada” en Mosquera. Así mismo, se consultaron bases de datos meteorológicas de la CAR y con uso de MS Excel se calculó la media y desviación estándar multianual a 10 años desde 2004 a 2013, desarrollándose las gráficas correspondientes a: Humedad relativa media mensual, precipitaciones totales mensuales, valores medios mensuales de temperatura, radiación solar mensual, velocidad y dirección del viento mensual. Posterior a esto se calcularon la temperatura y precipitación media, máxima y mínima.

## **2.2.Suelos**

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC y estudios realizados por otros autores en el área de interés proporcionaron información característica de propiedades fisicoquímicas de los suelos; material oficial de la Alcaldía de Mosquera permitió identificar los cultivos de importancia y área cultivada.

## **2.3.Fitoremediación**

Se recolecta información de artículos científicos y de revisión, se analizaron y compararon con la evidencia de otros artículos similares, esto para conocer el efecto de intervención que tiene la fitoremediación con metales pesados como el cadmio en el suelo agrícola y la contaminación de este por el riego con agua residual, a su vez analizando el comportamiento de mediación de las plantas con el propósito de fitoremediar.

Mediante un cuadro comparativo en términos prospectivos se evaluaron los siguientes requisitos técnicos de las plantas: adaptabilidad a la zona de interés, acumulación del metal en el suelo (mg/kg), absorción del metal por la planta (mg/kg), tejido vegetal en que acumula el metal y el factor de bioconcentración -BCF el cual se define como (contenido de metal en la planta /contenido de metal

*Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia*

en el suelo), presentado la planta más idónea para el municipio de Mosquera y el área de influencia del distrito de riego.

Se usó la red de Facilidad de Información de Biodiversidad Global –GBIF por sus siglas en inglés, para identificar la viabilidad climática y obtención de las especies de plantas acumuladoras de cadmio para el área de interés, consultando datos para Colombia y coordenadas correspondientes al departamento de Cundinamarca, esta red usa normas comunes y herramientas de código abierto que permitieron obtener información sobre dónde y cuándo se han encontrado las especies.

Se consultaron las siguientes bases de datos: Medline, Science Direct, Elsevier, ProQuest, Springer Link, EBSCO, Taylor & Francis online, repositorios de revistas: Scielo, NCBI, Zaloamati – UAM y la red social científica ResearchGate.

Se empleó como estrategia de investigación una serie de asociaciones específicas de palabras clave que relacionan los conceptos al tema de interés, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Combinación de palabras clave en inglés y español.

1. Generalidades	1.1. Biotechnology AND phytotechnology OR phytoremediation. 1.2. Biotecnología AND fitotecnología OR fitorremediación. 1.3. Phytoremediation AND phytoextraction OR phytoremediation techniques. 1.4. Fitorremediación AND fitoextracción OR técnicas de fitorremediación
------------------	--

	<p>1.5.Contamination of soil AND cadmium in the soil.</p> <p>1.6.Contaminación del suelo AND cadmio en el suelo.</p>
2. Caracterizar el municipio de Mosquera y el Distrito de Riego la Ramada.	<p>2.1.Clima de Mosquera OR edafoclimatología de Mosquera.</p> <p>2.2.Datos meteorológicos AND estaciones meteorológicas.</p> <p>2.3.Ubicación AND Mosquera AND coordenadas.</p> <p>2.4.Ubicación del distrito AND área</p>
3. Identificar las propiedades físico químicas de los suelos agrícolas de Mosquera	<p>3.1.Caracterización del suelo AND propiedades del suelo.</p> <p>3.2.Mosquera AND cadmio AND suelo.</p>
4. Salud	<p>4.1.Food safety AND heavy metals AND food chain.</p> <p>4.2.Seguridad alimentaria AND metales pesados AND cadena alimentaria.</p> <p>4.3.Food contaminated AND cadmium AND agricultural OR production</p> <p>4.4.Alimentos contaminados AND cadmio AND agricultura OR producción</p>
5. Determinar las especies con potencial fitorremediador	<p>5.1.Phytoremediation AND cadmium OR cadmium accumulation plants.</p> <p>5.2. Fitorremediación AND cadmio OR plantas acumuladoras de cadmio.</p>

### **3. Resultados**

#### **3.1. Caracterización del municipio de Mosquera y el Distrito de Riego la Ramada**

##### **3.1.1. Municipio de Mosquera**

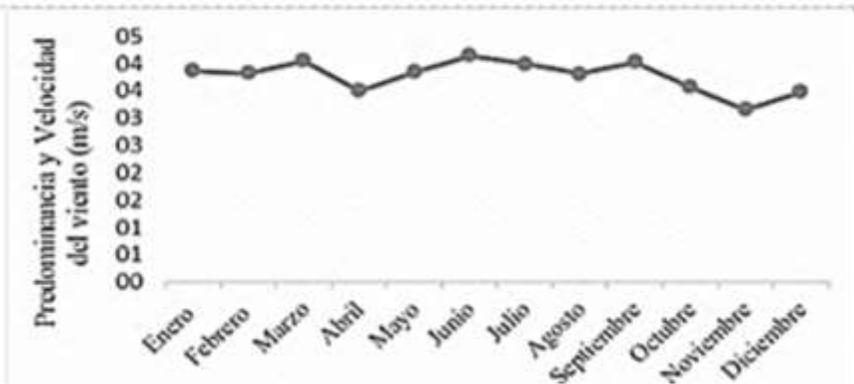
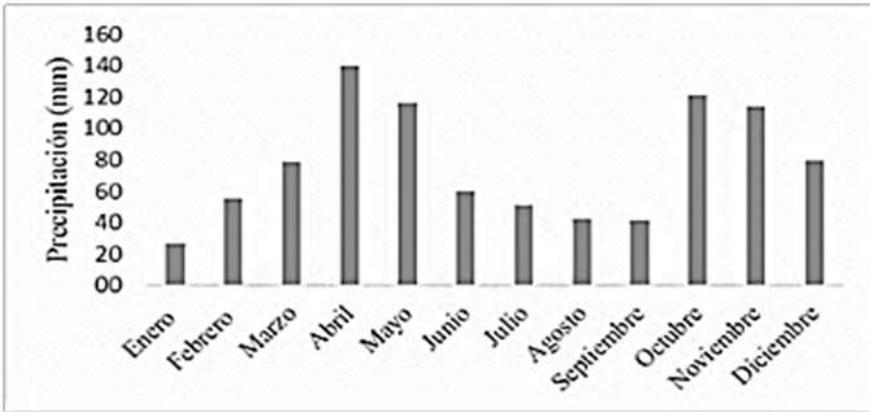
El Municipio de Mosquera posee un área total de 107 km<sup>2</sup>, hace parte del altiplano cundinamarqués formado por la Sabana de Bogotá, se encuentra localizado a 4° 42' 28" de latitud norte y 74°13'58" de longitud oeste del meridiano de Greenwich con una altitud de 2.546 metros sobre el nivel del mar y temperatura media de 14°C con variaciones diarias entre 0°C en la noche y 18°C en el día, su área fiscal es de 10.337 hectáreas, de las cuales 3.638 hectáreas conforman una zona montañosa con relieve ondulado que alcanza alturas de 2.800 msnm y las 6.699 hectáreas restantes hacen parte de la zona plana en donde se encuentran los principales asentamientos urbanos del municipio y las áreas de explotación agrícola (CDIM, 2017) .

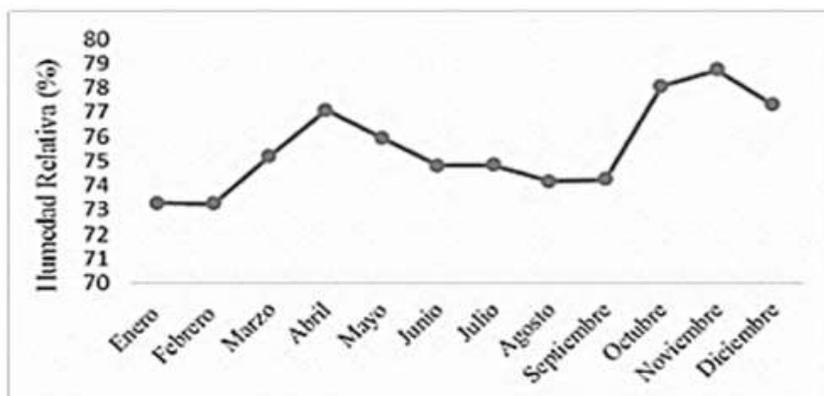
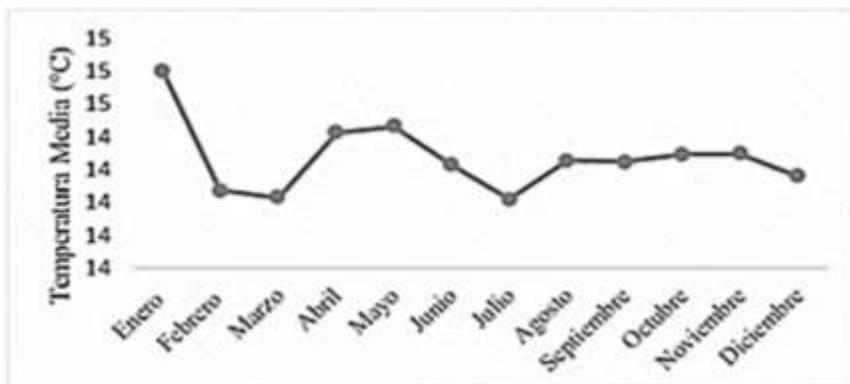
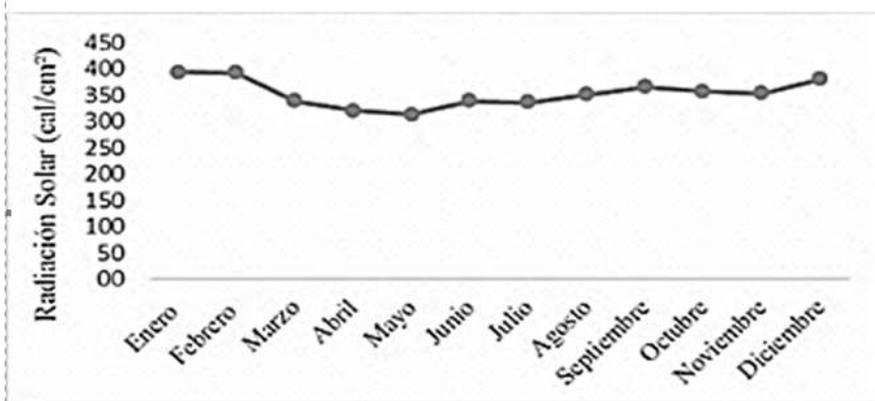
Las herramientas de información climática que incluyen análisis históricos, sistemas de monitoreo y pronósticos agroclimáticos facilitan la identificación de especies fitorremediadoras para suelos que están contaminados con cadmio. La Figura 1 presenta datos meteorológicos como precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar con promedios mensuales anuales a 10 años desde 2004 a 2013, datos obtenidos de la estación meteorológica la Ramada.

**Figura 1.** Resumen de datos meteorológicos multianuales de 2004-2013.

2004 - 2013	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación (mm)	26.1	54.8	78.5	139.2	115.6	60.1	50.6	42.1	41.3	120.5	113.1	79.2
Temperatura Media (°C)	14.8	14.1	14.0	14.4	14.5	14.2	14.0	14.3	14.2	14.3	14.3	14.2
Humedad Relativa (%)	73.3	73.2	75.2	77.1	75.9	74.8	74.8	74.2	74.2	78.1	78.7	77.3
Velocidad del viento (m/s) (Pred. SW)	3.9	3.8	4.0	3.5	3.8	4.1	4.0	3.8	4.0	3.6	3.2	3.5
Radiación Solar (cal/cm <sup>2</sup> )	393.6	391.4	337.9	320.5	312.9	337.7	336.2	350.6	364.8	356.3	353.3	379.3

*Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia*





Datos obtenidos de (CAR, 2013e, 2013b, 2013d, 2013a, 2013c).

*Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia*

El comportamiento de la precipitación acumulada presento valores entre 26.1 y 139.2 mm/mes, con un promedio general 76.7 mm/mes y una desviación estándar de 37.07 lo cual indica una fuerte variación anual de esta variable.

La temperatura promedio a escala multianual registro un promedio de 14.3°C con una desviación estándar de 0.21°C, al considerar la información de todas las estaciones. Se observó un valor mínimo de 14.0 °C en los meses de Marzo y Julio, y un valor máximo de 14.8°C el mes de Enero.

De la relación precipitación-temperatura se puede concluir que el municipio corresponde a un clima frio con amplitud térmica baja de 0.8, temperatura media de 14.7 °C, siendo los meses por arriba de la temperatura media Enero, Abril, Mayo, Agosto, Octubre, Noviembre y los meses por debajo de la temperatura media Febrero, Marzo, Junio, Julio, Septiembre, Diciembre; la precipitación total multianual desde 2004 a 2013 en promedio es de 920.9 mm, presentándose un tipo de clima húmedo, siendo Abril el mes más húmedo y Enero el más seco, con precipitaciones similares en el mes de Agosto y Septiembre.

Los resultados para la humedad relativa en general indican que el aire para la región se encuentra con una alta cantidad de vapor de agua muy cercana a saturación. El promedio general de todas las estaciones fue de 75.6% con una desviación estándar de tan solo 1.84.

La velocidad del viento promedio es de 3.8 m/s predominando su dirección al Sur-Oeste (SW) y con una desviación estándar de 0.28, con un rango de 3.2 m/s en Noviembre y 4.1 m/s en Junio.

La radiación solar promedio anual varió entre 320.5 cal/cm<sup>2</sup> en el mes de Abril y 393.6 cal/cm<sup>2</sup> en Enero, con un promedio de 352.9

cal/cm<sup>2</sup> para todas las estaciones y una desviación estándar de 25.90 cal/cm<sup>2</sup>.

### 3.1.2. Distrito de Riego “La Ramada”

Este distrito de riego cuenta con un área de 18 mil hectáreas alrededor de los municipios de Mosquera, Funza, Madrid, Tenjo, Cota y Bojacá, se encuentra embalsado dentro de la cuenca media del Río Bogotá, razón por la que hace parte del componente de riego del “Programa de la cuenca del Río Bogotá”, en el cual se plasma el diseño para irrigación de cultivos de vegetales a mediana y gran escala (CAR, 2011).

En la Tabla 2 según el acuerdo 43 de 2006, la CAR reportó concentraciones de cadmio de 0,003 mg/L en el sector superior de la cuenca alta y media, y concentraciones de 0,008–0,009 mg/L en la cuenca baja del río Bogotá (CAR, 2006); según Organización Mundial de la Salud -OMS el nivel de referencia de cadmio en el agua no debe ser superior a 0,003 mg/L (OMS, 2006), por lo que la cuenca media y alta del Río Bogotá cumple con el nivel de referencia.

**Tabla 2.** Parámetros de las condiciones de las cuencas del río Bogotá.

Parámetro mg/L	Cuenca				
	Alta superior	Alta inferior	Media	Baja superior	Baja inferior
DBO (Demanda biológica de oxígeno)	20 - 70	70 - 150	200 - 270	100 - 200	100 - 200
SST (Total de sólidos)	20 - 100	20 - 100	100 - 200	+200	100 - 200

***Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia***

en suspensión)					
OD (oxígeno disuelto)	+6	2 - 6	0 - 2	4 - 6	0 - 2
C. Totales (Coliformes totales) (NMP/100 ml)	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>9</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>9</sup>
Cadmio	0.003	0.000	0.003	0.008	0.009
Cromo	0.021	0.005	0.041	0.050	0.033
Níquel	0.016	0.016	0.029	0.050	0.28
Plomo	0.025	0.019	0.032	0.034	0.034

(CAR, 2006)

### **3.2.Suelos**

Los suelos que se encuentran en Mosquera son de texturas medias y moderadamente finas (Franco-arcillosos), material parental conformado por cenizas volcánicas y aluviones mixtos presentando carbón orgánico y fertilidad alta, moderadamente profundos a muy profundos, con intercambio catiónico alto, relación Ca/Mg ideal y aceptable, con bajos contenidos de P y K, presentan reacciones fuertemente acidas ( pH 5.1–5.5) y moderadamente alcalinas (pH 7.9–8.4) (IGAC, 2012; Vargas, Prieto, González, & Matamoros, 2004).

Las condiciones de texturas francas de los suelos de la zona de estudio, favorecen la acumulación de metales a altos niveles, al igual que la alta concentración de materia orgánica, estos pueden unir mayor cantidad de contaminantes hidrofóbicos. La biodisponibilidad de los contaminantes iónicos está afectada por el

pH del suelo (pH ácido, aumenta la biodisponibilidad de cationes) (García, Moreno, Hernández, & Polo, 2002; Sarwar *et al.*, 2017).

La concentración de cadmio en los suelos agrícolas del municipio de Mosquera se observa en la Tabla 3, según (Miranda, Carranza, & Gerhard, 2008) las muestras evidencian un comportamiento estable de concentración de cadmio en el suelo a través del tiempo, aunque cabe resaltar que los intervalos temporales de las muestras no se especifican.

**Tabla 3.** Concentración de cadmio en el suelo agrícola de Mosquera.

Muestra	Cd (mg/kg)
1	0.74
2	0.92
3	1.08
Media	0.91

Adaptada de (Miranda *et al.*, 2008).

En los suelos de la Sabana de Bogotá es posible que el uso constante, por décadas, de agua contaminada haya tenido un efecto acumulativo, ya que se reportó para el 2015 una concentración de 3.97 mg/kg de cadmio (Ruiz, 2015). Analizando la media aritmética obtenido en la Tabla 3 con datos de (Miranda *et al.*, 2008) y los reportados por (Ruiz, 2015) se observa que hay un incremento de 3.06 mg/kg de cadmio en el lapso comprendido entre los años de 2008 a 2015 en el suelo agrícola de Mosquera, pasando de niveles de 0.91 mg/kg a 3.97 mg/kg, las cuencas media y alta demandan 8,4 m<sup>3</sup>/s de agua, siendo la actividad agropecuaria el principal consumidor (CAR, 2006).

Estos suelos actualmente se encuentran en pasturas para la ganadería intensiva y la agricultura comercial, siendo aptas para cultivos transitorios de clima frío (papa, maíz, arveja, fresa, etc), hortalizas (repollo, ajo, coliflor, etc.) e incluso frutales de buena

*Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia*

aceptación en el mercado regional como la feijoa (Alcaldía de Mosquera, 2018; IGAC, 2012); en la Tabla 4 se observa la producción en el municipio, siendo así las variedades más predominantes en la producción: el apio ventura, lechuga batabia, papa r12, maíz tecnificado simijaca, brocoli legacy y cebolla de bulbo yellow granex (Alcaldía de Mosquera, 2016).

**Tabla 4.** Producción agrícola de pequeños y medianos productores del Municipio.

Descripción	Número
Número de hectáreas sembradas	1531
Número de hectáreas cosechadas	1466
Número de predios rurales dedicados al sector agropecuario	147
Número de visitas de seguimiento a huertas caseras urbanas	122
Número de visitas de seguimiento a pequeños y medianos productores agrícolas	124
Número de visitas de seguimiento a pequeños y medianos productores pecuarios	250

(Alcaldía de Mosquera, 2018).

La producción de hortalizas en esta zona se caracteriza porque vincula en su mayoría a pequeños y medianos productores que cumplen un papel importante como proveedores de las principales centrales de abasto de la región y otras zonas del país, estos cultivos son regados con la deteriorada calidad del agua de la cuenca media del río Bogotá, lo que genera riesgo a los consumidores.

En la Tabla 5 se muestra las hortalizas regadas por el agua de la cuenca media del río Bogotá, la cual es dispensada por el distrito de riego “La Ramada”, en ella se observa los valores acumulados de cadmio en unidades de mg/kg en cuatro especies diferentes de

plantas, valores comparados con el reglamento de la Unión Europea -UE y la norma general del codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -FAO y la Organización Mundial de la Salud –OMS para valores admisibles.

**Tabla 5.** Hortalizas cultivadas en Mosquera con contenido de cadmio.

Hortalizas	Contenido de Cd (mg/kg)	Norma FAO-OMS (mg/kg)	Norma UE mg/kg
Lechuga	0.26	0.2	0.05
Apio	0.95	0.1	0.2
Brócoli	0.41	0.05	0.05
Repollo	0.11	0.05	0.05

Datos tomados de (EU, 2014; FAO & OMS, 1995; Miranda *et al.*, 2008).

De la Tabla 5 se puede deducir con facilidad que los niveles de cadmio en hortalizas cultivadas en el municipio de Mosquera no cumplen y son peligrosos según los estándares de las organizaciones a nivel mundial.

### **3.3.Especies Fitorremediadoras**

Se desarrolló un cuadro comparativo de evaluación para plantas acumuladoras de cadmio con el propósito de fitorremediar el suelo, como lo muestra la Tabla 6, las cuales fueron seleccionadas a partir de la información obtenida por la red de Global Biodiversity Information Foundation –GBIF donde se estableció la ubicación con coordenadas para Colombia y altura sobre el nivel del mar, datos relevantes y complementarios a las meteorología descrita en los resultados 3.1.1 y suelos en el punto 3.2 para considerar a la especie en el área de interés.

**Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia**

**Tabla 6.** Comparación de Plantas fitorremediadoras de Cadmio aptas para Mosquera.

Especies de plantas	Nombre común	Cd en el suelo (mg/kg)	Cd en la planta (mg/kg)	FBC	Tejidos de acumulación	Autor
<i>Arundo donax</i> L.	Cañabrava	0.44±0.05	0.3	0.75	Raíz Tallo Hojas	(Shiliang et al., 2019)
<i>Brassica campestris</i> L.	Choy sum	33±2.5	19.6±2.2	0.60	Raíz Hojas	(Ghosh & Singh, 2004)
<i>Brassica napus</i> L.	Colza	5.0	3.19±0.37	0.64	Raíz	(Zhao et al., 2018)
<i>Brassica oleracea</i> L.	Col Silvestre	1.20	1.0	0.83	Hojas Raíz	(Galal, Khalafallah, Elawa, & Hassan, 2018)
<i>Raphanus sativus</i> L.	Rábano	4.0	0.81±0.04	0.20	Raíz Brotos	(Xin et al., 2017)
<i>Sinapis alba</i> L.	Mostaza amarilla	32.0	17.3	0.54	Raíz Brotos	(Płociniczak, Kukla, Watroba, & Piotrowska-Seget, 2013)

<i>Lantana Camara</i> L.	Camará	25.10	65.30±4.24	2.60	Brote	(Shiliana <i>et al.</i> , 2019)
<i>Brassica juncea</i> L.	Mostaza de la India	50	35.57±2.2	0.71	Raíz Tallo Hojas	(Ghosh & Singh, 2004)
<i>Cannabis sativa</i> L.	Cañamo	300	197.1±25.2	0.65	Raíz Brote	(Citterio <i>et al.</i> , 2005)
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Papa	5.0	3.62	0.72	Raíz Hoja	(Chen <i>et al.</i> , 2014)
<i>Urtica dioica</i> L.	Ortiga	1.9	1.8±0	0.94	Hoja Brote Raíz	(Viktorova <i>et al.</i> , 2016)
<i>Taraxacum officinale</i> Weber ex F.H. Wigg.	Diente de León	1.94	1.71	0.88	Raíz	(Kajka & Rutkowska, 2018)

FBC: Factor de bioconcentración.

El factor de bioconcentración es un valor adimensional que se define como la cantidad de cadmio acumulado en la planta por cada unidad de cadmio en el suelo antes de fitorremediar. En este orden de ideas las plantas con un FBC cercano a 1.0 son más eficaces en el proceso de fitorremediación, por lo cual plantas como ortiga, diente de león, col silvestre y Cañabrava con coeficientes de 0.94, 0.88, 0.83 y 0.75 respectivamente son opciones a tener en cuenta para el interés aplicativo.

## 1. Discusión de resultados

El cadmio (Cd) es un oligoelemento potencialmente tóxico para plantas y animales. La principal fuente de exposición diaria al

*Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia*

cadmio son los alimentos; la ingesta oral diaria mundial es de 10 a 35  $\mu\text{g}$  (0.01 mg a 0.035 mg) según la (OMS, 2006). Su entrada en la cadena alimentaria es una preocupación importante para la salud humana (Bashir *et al.*, 2018; Chaney, 2015).

Los límites máximos de contenido de cadmio en productos alimenticios están regulados en la Unión Europea por el Reglamento (UE) No 488/2014 de la Comisión de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios (EU, 2014); basándose en que la concentración de cadmio en la corteza renal no exceda de 50 mg/kg, la ingesta total de cadmio no debe exceder 0.001 mg/kg de peso corporal al día (suponiendo una tasa de absorción de cadmio en la alimentación del 5% y una tasa de excreción diaria del 0,005% de la carga corporal) (OMS, 2006).

Los suelos que contienen cadmio hacen que la adsorción de este metal en las plantas sea mayor, causando una exposición directa del ser humano a la contaminación a través de cultivos agrícolas como se muestra en la Tabla 7, las cuales absorben una cantidad de cadmio considerable si están en un suelo con pH bajo, y el consumo regular incrementa la exposición causando daños en hígado y riñones.

**Tabla 7.** Acumulación de cadmio en el tejido vegetal de plantas de interés económico y contenido de cadmio en el suelo.

Planta	Cd en el suelo (mg/kg)	Cd en tejido vegetal (mg/kg)	Autor
Lechuga	1.7	0.06	(Hu <i>et al.</i> , 2013)
Apio	1.0	0.04	(Mombo <i>et al.</i> , 2016)
Maíz	7.1	0.02	(Liu <i>et al.</i> , 2014)
Repollo	1.2	0.04	(Xu <i>et al.</i> , 2013)

Cebolla	0.098	0.09	(K. Khan <i>et al.</i> , 2013)
Acelga	1.0	0.03	(Mombo <i>et al.</i> , 2016)
Patatas	0.52	0.031	(Pajević <i>et al.</i> , 2018)
Espinaca	0.75	0.18	(Gebrekidan, Weldegebriel, Hadera, & Van Der Bruggen, 2013)

Se observa en la Tabla 7 que al consumir estas hortalizas excede la ingesta total de cadmio reportada por la (OMS, 2006); la presencia de metales pesados en alimentos constituye un tema de actualidad debido a la contaminación de la cadena trófica involucrada y a los daños que ocasionan a la salud pública; el cadmio no se puede eliminar una vez acumulado en el alimento provocando a largo plazo afecciones renales y respiratorias, así como alteraciones óseas y del aparato reproductor; el grupo de riesgo más alto son los bebés, niños y mujeres con embarazos ya que absorben más cadmio, por lo que están más expuestos a su toxicidad (Elika, 2014).

De acuerdo con los resultados de la Tabla 6 se presenta un caso especial para la planta *Lantana camara* L. que según (Shiliang *et al.*, 2019) es hiperacumuladora de cadmio, esta planta presenta una característica fisiológica que permite a las raíces acceder de manera más rápida a nuevos volúmenes de suelo contaminado con cadmio por medio de su crecimiento, exhibiendo una capacidad estable de acumulación. Es por esto que el FBC es mayor a 1, arrojando un resultado de 2.60.

Son varias las plantas que se han utilizado para la fitorremediación de cadmio, sin embargo, algunas de estas plantas son de importancia económica para el consumo, por ejemplo

*Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia*

*Solanum tuberosum* L (Clemens *et al.*, 2013). , *Brassica oleracea* L (Galal *et al.*, 2018) y *Raphanus sativus* L (Xin *et al.*, 2017) las cuales pueden transferir el cadmio a la cadena alimentaria, ruta que expone a la población general a través del consumo de alimentos contaminados con el metal. Algunas plantas que acumulan cadmio son consideradas arvences, como es el caso de *Urtica dioica* L. (Balabanova, Stafilov, & Bačeva, 2015), *Taraxacum officinale* Weber ex F.H. Wigg.(Lyubomirova, Mihaylova, & Djingova, 2015), *Lantana Camara* L. (Shiliang *et al.*, 2019) que tienen bajos beneficios económicos para los agricultores. *Lantana Camara* L. es una planta productora de hermosas flores pero es considerada invasora (Grilli & Galetto, 2010) por tal razón no será la mejor especie para implementar en el área de interés.

*Arundo donax* L. (Curt *et al.*, 2017) y *Brassica napus* L.(Houben, Evrard, & Sonnet, 2013) según los autores, manifiestan que estas especies son utilizadas para la producción de biomasa y empleadas en tecnologías de bioenergía a través del uso de biodiesel o biogás, sin embargo estas plantas al tener contenidos de cadmio en su sistema, por absorberlo del suelo, no son una consideración al uso de estas alternativas, ya que al llevar la biomasa a la quema, el cadmio se libera a la atmosfera, por lo tanto una disposición final del material de plantas fitorremediadoras sería el secado; *Arundo donax* L. en el área de interés por su rápida propagación no sería la especie más apta para el suelo agrícola, ya que podría convertirse en una planta invasora.

Según esto, las plantas más apropiadas para la remediación de suelo agrícola de Mosquera son *Urtica dioica* L. por su alto FBC y propiedades alelopáticas con cultivos hortícolas, *Taraxacum officinale* Weber ex F.H. Wigg. por su alto FBC, y *Sinapis alba* L. (Houben *et al.*, 2013) que según el autor tiene diferentes usos a nivel industrial, pero el más viable es la producción como ornamental, no afecta a otras plantas y no es invasiva; estas tres especies poseen la

mejor adaptabilidad meteorológica con el municipio de Mosquera y son de fácil obtención para los agricultores, representando de por sí bajos costos en su implementación.

#### **4. Conclusiones**

El agua del Distrito de Riego “La Ramada” utilizada en los suelos agrícolas de Mosquera, presentó niveles de cadmio dentro de los límites permisibles para uso agrícola, sin embargo, la presencia del metal en el agua de irrigación produce la acumulación de este en el suelo, presentando para el año 2008 una concentración de 0.91 mg/kg de Cd y para 2015 un nivel de 3.97 mg/kg de Cd, evidenciándose así la elevación de concentración a través del tiempo.

La eliminación de Cd a través de la fitorremediación emerge como una tecnología de tratamiento sostenible para el suelo contaminado y aguas residuales, obteniéndose resultados hasta del 90% para la extracción y control de la contaminación por cadmio en el agro-ecosistema, como es el caso de la ortiga, *Urtica dioica* L.

Las 12 especies fitorremediadoras postuladas presentan una alta adaptabilidad a las condiciones particulares del municipio; de acuerdo al factor de bioconcentración y las condiciones edafoclimáticas se presentan resultados considerables en la remoción de cadmio, las especies más eficientes seleccionadas para la fitorremediación de suelo, en prospectiva, son *Urtica dioica* L., *Taraxacum officinale* Weber ex F.H. Wigg. y *Sinapis alba* L.

#### **Referencias**

Alcaldía de Mosquera. (2016). *Plan de desarrollo 2016-2019 municipio de Mosquera*. Retrieved from <http://mosquera.cundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/>

*Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia*

- mosqueracundinamarca/content/files/000053/2604\_acuerdo-no-716-plan-desarrollo.pdf
- Alcaldía de Mosquera. (2018). *Ficha básica estadística 2017 municipio de Mosquera*. Retrieved from [http://mosqueracundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/mosqueracundinamarca/content/files/000405/20233\\_ficha-estadistica-2018-corregida.pdf](http://mosqueracundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/mosqueracundinamarca/content/files/000405/20233_ficha-estadistica-2018-corregida.pdf)
- Alonso, J. N., Montaña, N. M., Santoyo, G., Márquez, L., Saucedo, B. C., & Sánchez, J. M. (2018). *Bioremediation and phytoremediation of soil impacted by waste residual oil*. Retrieved from [http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1\\_a04.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1_a04.pdf)
- Balabanova, B., Stafilov, T., & Bačeva, K. (2015). Bioavailability and bioaccumulation characterization of essential and heavy metals contents in *R. acetosa*, *S. oleracea* and *U. dioica* from copper polluted and referent areas. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0159-1>
- Bashir, A., Rinklebe, J., Ok, Y. S., Maqbool, A., Ali, S., Rizwan, M., ... Tack, F. M. G. (2018). Cadmium phytoremediation potential of Brassica crop species: A review. *Science of The Total Environment*, 631–632, 1175–1191. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.104>
- Beltrán, M. E., & Gómez, A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: Una revisión. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- CAR. (2006). *Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR acuerdo número 43 del 17 de octubre de 2006*. Retrieved from [http://archivo.car.gov.co/sites/default/files/recursos\\_user//43\\_Ac\\_Calidad del Agua\\_2020\\_2006.pdf](http://archivo.car.gov.co/sites/default/files/recursos_user//43_Ac_Calidad del Agua_2020_2006.pdf)
- CAR. (2009). *Evaluación ambiental y plan de gestión ambiental volumen I estrategia regional. Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental Río Bogotá-Agosto*. Retrieved from

- [http://web2.car.gov.co/recursos\\_user/Proyectos Especiales/RIO BOGOTA/Evaluacion Ambiental Volumen I.pdf](http://web2.car.gov.co/recursos_user/Proyectos Especiales/RIO BOGOTA/Evaluacion Ambiental Volumen I.pdf)
- CAR. (2010). *Carta ambiental distritos de riego*. Retrieved from <http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/15/Carta Ambiental 25.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CAR. (2011). *Producto Final-Anexo No. 24 La Ramada*. Retrieved from <https://www.car.gov.co/uploads/files/5aeb755bef54b.pdf>
- CAR. (2013a). Humedad relativa media mensual. Retrieved from <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=10584>
- CAR. (2013b). Precipitaciones totales mensuales. Retrieved from <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=10578>
- CAR. (2013c). Radiación Solar. Retrieved from <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=10574>
- CAR. (2013d). Valores Medios Mensuales de Temperatura. Retrieved from <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=10576>
- CAR. (2013e). Velocidad y dirección del viento. Retrieved from <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=10577>
- CDIM. (2017). *Geografía física y medio ambiente generalidades del municipio de Mosquera Cundinamarca*. Retrieved from [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos PDF/pot - mosquera - cundinamarca - 2000 - índice - \(211 pág - 598 kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos PDF/pot - mosquera - cundinamarca - 2000 - índice - (211 pág - 598 kb).pdf)
- Chaney, R. L. (2015). How Does Contamination of Rice Soils with Cd and Zn Cause High Incidence of Human Cd Disease in Subsistence Rice Farmers. *Current Pollution Reports*, 1(1), 13–22. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0002-4>
- Chen, Z., Zhao, Y., Gu, L., Wang, S., Li, Y., & Dong, F. (2014). Accumulation and localization of cadmium in potato (*Solanum tuberosum*) under different soil Cd levels. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92(6), 745–751. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1252-3>
- Citterio, S., Prato, N., Fumagalli, P., Aina, R., Massa, N., Santagostino, A., ... Berta, G. (2005). The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* induces growth and metal

*Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia*

- accumulation changes in *Cannabis sativa* L. *Chemosphere*, 59(1), 21–29.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.009>
- Clemens, S., Aarts, M. G. M., Bastien Thomine, S., & Verbruggen, N. (2013). Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.003>
- Cristaldi, A., Conti, G. O., Jho, E. H., Zuccarello, P., Grasso, A., Copat, C., & Ferrante, M. (2017). Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology & Innovation*, 8, 309–326.  
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.08.002>
- Curt, M. D., Mauri, P. V, Sanz, M., Cano-Ruiz, J., Del Monte, J. P., Aguado, P. L., & Sánchez, J. (2017). The ability of the *Arundo donax* crop to compete with weeds in central Spain over two growing cycles. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.015>
- Elika. (2014). Cadmio. Retrieved from [http://www.elika.net/datos/pdfs\\_agrupados/Documento146/25\\_Cadmio\\_act.pdf](http://www.elika.net/datos/pdfs_agrupados/Documento146/25_Cadmio_act.pdf)
- EU. (2014). REGLAMENTO (UE) N o 488/2014 DE LA COMISIÓN. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>
- FAO, & OMS. (1995). Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. *CODEX STAN 193-1995. Adoptada En 1995. Revisión: 2009. Enmienda: 2016*, 76. Retrieved from [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCODEX%252FBSTAN%252B193-1995%252FCXS\\_193s.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCODEX%252FBSTAN%252B193-1995%252FCXS_193s.pdf)
- Farag, N., Nasr, M., & Okbah, M. A. (2015). Potential ecological risk of heavy metals in sediments from the Mediterranean coast, Egypt. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0223-x>
- Galal, T. M., Khalafallah, A. A., Elawa, O. E., & Hassan, L. M. (2018). Human health risks from consuming cabbage (*Brassica*

- oleracea L. var. capitata) grown on wastewater irrigated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 20(10), 1007–1016. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1452186>
- García, C., Moreno, J., Hernández, T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente*, 125–138. Retrieved from <http://digital.csic.es/handle/10261/111812>
- Gebrekidan, A., Weldegebriel, Y., Hadera, A., & Van Der Bruggen, B. (2013). Toxicological assessment of heavy metals accumulated in vegetables and fruits grown in Ginfel river near Sheba Tannery, Tigray, Northern Ethiopia. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.05.035>
- Ghosh, M., & Singh, S. P. (2004). A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.05.015>
- Gobernación de Cundinamarca. (2017). Secretaría de Agricultura. Retrieved April 19, 2019, from [http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.g c/Secretariadeagricultura/Secagriculturadespliegue/asdesarrollo\\_rural\\_contenidos/csecreagri\\_distritos-de-riego](http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.g c/Secretariadeagricultura/Secagriculturadespliegue/asdesarrollo_rural_contenidos/csecreagri_distritos-de-riego)
- Grilli, G., & Galetto, L. (2010). Remoción de frutos de una especie invasora (Lantana, 495(5000), 149–156.
- Horta, A., Malone, B., Stockmann, U., Minasny, B., Bishop, T. F. A., McBratney, A. B., ... Pozza, L. (2015). Potential of integrated field spectroscopy and spatial analysis for enhanced assessment of soil contamination: A prospective review. *Geoderma*, 241–242, 180–209. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.024>
- Houben, D., Evrard, L., & Sonnet, P. (2013). Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Biomass and Bioenergy*, 57, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.019>
- Hu, J., Wu, F., Wu, S., Sun, X., Lin, X., & Wong, M. H. (2013). Phytoavailability and phytovariety codetermine the

- bioaccumulation risk of heavy metal from soils, focusing on Cd-contaminated vegetable farms around the Pearl River Delta, China. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.01.001>
- Hurtado, S. (2011). *Memoria. Principales métodos de descontaminación de suelos*. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20229/fichero/2.+Memoria+del+Proyecto%252F4.++Principales+métodos+de+descontaminación+de+suelos.pdf>
- IGAC. (2012). Levantamiento Detallado de Suelos Sabana de Bogotá, 488. Retrieved from [https://www.academia.edu/34566443/levantamiento\\_de\\_suelos\\_en\\_las\\_áreas\\_planas\\_en\\_los\\_municipios\\_de\\_Cota\\_Tabio\\_Tenjo\\_Chía\\_Cajicá\\_Sopó\\_Tocancipá\\_Gachancipá\\_Facatativá\\_Mosquera\\_Madrid\\_Bojacá\\_Funza\\_y\\_Soacha](https://www.academia.edu/34566443/levantamiento_de_suelos_en_las_áreas_planas_en_los_municipios_de_Cota_Tabio_Tenjo_Chía_Cajicá_Sopó_Tocancipá_Gachancipá_Facatativá_Mosquera_Madrid_Bojacá_Funza_y_Soacha)
- Irfan, M., Hayat, S., Ahmad, A., & Alyemeni, M. N. (2013). Soil cadmium enrichment: Allocation and plant physiological manifestations. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.11.004>
- Kajka, K., & Rutkowska, B. (2018). Accumulation of selected heavy metals in soils and common dandelion (*Taraxacum officinale*) near a road with high traffic intensity. *SOIL SCIENCE ANNUAL*, 69(1), 11–16. <https://doi.org/10.2478/ssa-2018-0002>
- Khan, K., Lu, Y., Khan, H., Ishtiaq, M., Khan, S., Waqas, M., ... Wang, T. (2013). Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.014>
- Khan, M. A., Khan, S., Khan, A., & Alam, M. (2017). Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.030>
- Liu, Y., Xiao, T., Baveye, P. C., Zhu, J., Ning, Z., & Li, H. (2014). Potential health risk in areas with high naturally-occurring

- cadmium background in southwestern China. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.10.022>
- Lyubomirova, V., Mihaylova, V., & Djingova, R. (2015). Effects of soil properties and anthropogenic activity on the transfer of 52 elements in the system soil/*Taraxacum officinale*. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1094-6>
- Miranda, D., Carranza, C., & Gerhard, F. (2008). *Calidad del Agua de Riego en la Sabana de Bogotá*. Retrieved from <https://www.amazon.com/Calidad-agua-riego-Sabana-Bogota/dp/B002ZN7N6O>
- Mombo, S., Foucault, Y., Deola, F., Gaillard, I., Goix, S., Shahid, M., ... Dumat, C. (2016). Management of human health risk in the context of kitchen gardens polluted by lead and cadmium near a lead recycling company. *SOIL POLLUTION AND REMEDIATION*. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1069-7>
- Nawrot, T. S., Staessen, J. A., Roels, H. A., Munters, E., Cuypers, A., Richart, T., ... Ruttens, A. (2010). Cadmium exposure in the population: from health risks to strategies of prevention. *Biometals*, 23, 769–782. <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9343-z>
- OMS. (2006). Guías para la calidad del agua potable. Retrieved from [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf)
- Ortiz, I. (2017). *Técnicas de Recuperación de Suelos Contaminados Aplicadas a Sedimentos Marinos. Posibilidades*. Retrieved from [http://ptprotecma.es/wp/wp-content/uploads/2017/01/UGRANADA\\_Técnicas-de-Recuperación-de-Suelos-Contaminados-Aplicadas-a-sedimentos-marinos.-Posibilidades.pdf](http://ptprotecma.es/wp/wp-content/uploads/2017/01/UGRANADA_Técnicas-de-Recuperación-de-Suelos-Contaminados-Aplicadas-a-sedimentos-marinos.-Posibilidades.pdf)
- Pajević, S., Arsenov, D., Nikolić, N., Borišev, M., Orčić, D., & Župunski, M. (2018). Heavy metal accumulation in vegetable species and health risk assessment in Serbia. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6743-y>

*Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia*

- Pandey, V. C., Bajpai, O., & Singh, N. (2015). Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.078>
- Płociniczak, T., Kukla, M., Watroba, R., & Piotrowska-Seget, Z. (2013). The effect of soil bioaugmentation with strains of *Pseudomonas* on Cd, Zn and Cu uptake by *Sinapis alba* L. *Chemosphere*, 91(9), 1332–1337. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.008>
- Ruiz, J. (2015). Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(2), 295–302. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i2.1270>
- Sánchez, G. (2016). *Ecotoxicología del cadmio: Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio*. Retrieved from [http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA\\_SANCHEZ\\_BARRON.pdf](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA_SANCHEZ_BARRON.pdf)
- Sarwar, N., Imran, M., Rashid Shaheen, M., Ishaque, W., Kamran, M. A., Matloob, A., ... Hussain, S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>
- Shi, G., & Cai, Q. (2009). Cadmium tolerance and accumulation in eight potential energy crops. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.04.006>
- Shiliang, L., Shafaqat, A., Rongjie, Y., Jianjun, T., & Bo, R. (2019). A newly discovered Cd-hyperaccumulator *Lantana camara* L. *Journal of Hazardous Materials*, 371, 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.016>
- Stingu, A., Volf, I., Popa, V. I., & Gostin, I. (2011). New approaches concerning the utilization of natural amendments in cadmium phytoremediation. *Industrial Crops & Products*, 35, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.005>

- Uraguchi, S., & Fujiwara, T. (2012). *Cadmium transport and tolerance in rice: perspectives for reducing grain cadmium accumulation*. Retrieved from <http://www.thericejournal.com/content/5/1/5>
- Vargas, O., Prieto, G., González, L., & Matamoros, A. (2004). *Geoquímica de metales pesados en suelos de la cuenca del río Bogotá*. Retrieved from [http://recordcenter.sgc.gov.co/B11/23008001024383/Documento/pdf/Geoquímica de Metales Pesados en Suelos de la Cuenca del río Bogotá.pdf](http://recordcenter.sgc.gov.co/B11/23008001024383/Documento/pdf/Geoquímica%20de%20Metales%20Pesados%20en%20Suelos%20de%20la%20Cuenca%20del%20río%20Bogotá.pdf)
- Velásquez, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151–167. <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>
- Viktorova, J., Jandova, Z., Madlenakova, M., Prouzova, P., Bartunek, V., Vrchotova, B., ... Macek, T. (2016). Native Phytoremediation Potential of *Urtica dioica* for Removal of PCBs and Heavy Metals Can Be Improved by Genetic Manipulations Using Constitutive CaMV 35S Promoter. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167927>
- Weissmannová, H. D., & Pavlovský, J. (2017). Indices of soil contamination by heavy metals – methodology of calculation for pollution assessment (minireview). *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(12), 616. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6340-5>
- Xin, J., Zhao, X., Tan, Q., Sun, X., Wen, X., Qin, S., & Hu, C. (2017). The Effects of Cadmium Exposure on Cadmium Fractionation and Enzyme Activities in the Rhizosphere of Two Radish Cultivars (*Raphanus sativus* L.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 98(2), 290–295. <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1998-x>
- Xu, D., Zhou, P., Zhan, J., Gao, Y., Dou, C., & Sun, Q. (2013). Assessment of trace metal bioavailability in garden soils and health risks via consumption of vegetables in the vicinity of

***Prospective analysis of phytoremediation species for agricultural soils contaminated with cadmium in Mosquera - Colombia***

Tongling mining area, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 90, 103–111.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.12.018>

Zhao, Y., Hu, C., Wu, Z., Liu, X., Cai, M., Jia, W., & Zhao, X. (2018). Selenium reduces cadmium accumulation in seed by increasing cadmium retention in root of oilseed rape (*Brassica napus* L.). <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.017>