

## El cadmio y su efecto en el crecimiento de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

### Cadmium and its effect on the growth of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)



Matthew Ortiz Conforme  
Beatriz Pernía Santos  
Ana Mosquera Aspiazu  
Amado Gallardo Campoverde  
Javier Landívar Vera

✉ <https://orcid.org/0000-0003-4966-6412>  
✉ <https://orcid.org/0000-0002-2476-7279>  
✉ <https://orcid.org/0000-0002-5453-2905>  
✉ <https://orcid.org/0000-0002-6481-8245>  
✉ <https://orcid.org/0000-0002-8692-2000>

Universidad de Guayaquil | Guayaquil – Ecuador | CP 090514

✉ [matthew.ortizc@ug.edu.ec](mailto:matthew.ortizc@ug.edu.ec)

<https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.714>  
Páginas: 109- 117

#### Resumen

El cadmio (Cd) es peligroso para los seres vivos por su alta toxicidad; estudios demuestran contaminación en suelos agrícolas a causa de este metal pesado. En la presente investigación, se evaluaron los efectos de este metal en cuatro variedades de caña de azúcar cultivadas en la cuenca baja del río Guayas: Ragnar, Cenicaña, ECU01 y ECU02; particularmente los efectos sobre parámetros de crecimiento: altura, diámetro del tallo, número de esquejes y número de hojas. Se seleccionaron esquejes de cada variedad para clasificarlos por cuadruplicado. Durante 300 días fueron expuestos a un sustrato contaminado con cadmio en cinco concentraciones: 0.5, 1, 2, 4 y 8 mg/kg Cd, los cuales fueron contrastados con un control (0 mg/kg). Se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo del índice de tolerancia y porcentaje de inhibición de crecimiento. Se redujo en 12,98 % el crecimiento de la variedad Cenicaña y la inhibición menor fue la Ragnar (-3,88 %); demostrando estímulo de crecimiento a 8 mg/kg de Cd. Las variedades más tolerantes fueron Ragnar y ECU-02 según índice de tolerancia. Estas últimas son las recomendadas para suelos que contengan más de 4 mg/kg de Cd. Se exhorta realizar análisis de cadmio en suelos agrícolas antes de sembrar la caña de azúcar para garantizar la inocuidad alimenticia en Ecuador.

**Palabras clave:** bioensayo en suelo, cadmio, índice de tolerancia, porcentaje de inhibición de crecimiento.

#### Abstract

Cadmium (Cd) is dangerous for living beings due to its high toxicity. Studies show contamination in agricultural soils due to this heavy metal. In the present investigation, the effects of this metal on four varieties of sugarcane grown in the lower basin of the Guayas River were evaluated: Ragnar, Cenicaña, ECU01, and ECU02; particularly the effects on growth parameters: height, stem diameter, number of cuttings, and number of leaves. Cuttings of each variety were selected to be classified by quadruple. For 300 days, they were exposed to a substrate contaminated with cadmium in five concentrations: 0.5, 1, 2, 4, and 8 mg/kg-Cd, which were contrasted with the control (0 mg/kg). Statistical analyses were performed by calculating both the tolerance index and the percentage of growth inhibition. The growth of the Cenicaña variety was reduced by 12.98%, and the variety with the lowest inhibition was the Ragnar (-3.88%), demonstrating growth stimulation at 8 mg/kg-Cd. According to the tolerance index, the most tolerant varieties were Ragnar and ECU-02. The latter is recommended for soils containing more than 4 mg/kg of Cd. Cadmium analysis of agricultural soils is encouraged before planting sugarcane to ensure food safety in Ecuador.

**Keywords:** Soil bioassay, Cadmium, Tolerance Index, Percent growth inhibition.

Recepción: 17/10/2022 | Aprobación: 8/12/2022 | Publicación: 23/12/2022

## 1. Introducción

La agricultura es fundamental para el desarrollo del ser humano. Los recursos agrícolas pasaron de ser una necesidad básica, a un medio para la obtención de beneficios económicos. En consecuencia, no existe un equilibrio entre la explotación de los recursos naturales y la inocuidad alimenticia [1]. Los sistemas alimentarios con principios de sostenibilidad son los principales perseguidores de los objetivos de desarrollo a nivel mundial [2]. Debido a que “Un sistema alimentario sostenible es aquel que garantiza la seguridad alimentaria y la nutrición de todas las personas de tal forma que no se pongan en riesgo las bases económicas, sociales y ambientales de éstas para las futuras generaciones” [3]. El cuidado y manejo integrado de los cultivos ha conducido a la utilización de pesticidas y fertilizantes sintéticos, siendo esto una de las razones por lo cual se encuentran biodisponibles de forma sistemática los metales pesados [4].

Dentro del grupo de los metales pesados se encuentra el cadmio (Cd) metal catalogado como una sustancia tóxica con gran dinamismo, pero sin una función biológica y perjudicial para los seres vivos [5]. Es emitido al medio por actividades industriales, minería, metalurgia, fabricación y aplicación de fertilizantes de fosfato y de la incineración de residuos urbanos lo que influye de manera significativa en los flujos de energía de la cadena trófica [6].

Las actividades antropogénicas han incrementado la presencia del cadmio en el ambiente; se mantiene persistente por su baja degradabilidad y su bioacumulación en la naturaleza, siendo fácilmente trasladado por las corrientes de los ríos y la dirección de los vientos. Condo (2018) señala que el cadmio ingresa en el ser humano por medio de la ingesta de vegetales contaminados con este metal, pero no son los únicos alimentos que contienen este metal [7]; por esta razón, se han establecido límites máximos permisibles que se encuentra en la legislación de cada país. Existen en el mundo un promedio de 0,53 mg/kg, sin embargo, debido a las actividades antropogénicas estos valores han excedido los 10 mg/kg en suelo de cultivos provocando contaminación [8]. El límite máximo permisible para la concentración de cadmio en suelos no debería superar los 0,5 mg/kg en el Ecuador [9].

Diferentes reportes científicos evidencian la contaminación de los suelos agrícolas en Ecuador, provocados por el cadmio [10, 11]. Félix, Mite, Carrillo y Pino (2002) comprobaron que existían concentraciones de cadmio en cultivos de plátano, banano, café y palma africana siendo este último el más afectado ya que se reportó Cd en concentraciones de 0,02-0,68 expresado en unidades de mg/kg [12]. En otras investigaciones, Chavez *et al.* (2015) evidenciaron presencia de cadmio en los suelos de

cultivo de la provincia del Guayas, concentraciones que alcanzaban niveles de 0,66-2,59 mg/kg Cd [11]. Por otra parte, Barraza *et al.* (2017) halló presencia de cadmio en suelos cultivados con cacao, los valores de Cd variaron entre 0,36 a 2,59 mg/kg en hojas, 1,15 a 2,36 mg/kg en testa y 1,15 mg/kg a 1,93 mg/kg en almendra de cacao [13]. En otras especies como arroz y maíz se ha demostrado que algunas variedades son más tolerantes y acumulan mayores concentraciones de cadmio. Gallardo *et al.* (2019) evaluaron los efectos del cadmio mediante bioensayo *in vitro* sobre cuatro variedades de caña de azúcar; Ragnar, CC 85-92, ECU-01 y CC-22, sobre la germinación y biomasa en la cuenca baja del río Guayas, donde se observó que la variedad CC 85-92 fue la más tolerante a todos los tratamientos de cadmio y la única en presentar una respuesta hormética, la cual se manifestó como un estímulo en su crecimiento a 0.5 y 1 mg/L. [14]. Sin embargo, no se han realizado estos estudios en suelos de cultivo.

En la cuenca baja del río Guayas existen zonas que se encuentran interconectadas de forma agrícola y el cultivo de caña de azúcar es uno de los más relevantes. La producción de caña de azúcar representa para los agricultores la oportunidad de generar ingresos económicos representativos para la solvencia de sus hogares. Debido a que, la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es una planta fundamental en la economía de muchas regiones del mundo, por su versatilidad y capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales [14]. En el Ecuador, la superficie cosechada de caña de azúcar fue de 139 406 hectáreas. La provincia del Guayas mantuvo el 75 % de actividades productivas, seguida de la provincia de Cañar con el 19 %, cuyos ingresos anuales provenientes de la elaboración y refinación de azúcar fueron de \$124,45 MM de valor agregado bruto para el año 2020, manteniendo una participación del 0,19 % del producto interno bruto del país. Los procesos de exportación se mantuvieron en 34,72k de toneladas de azúcar para el año 2020. Los grandes ingenios destinan este recurso principalmente a la producción de azúcar y alcohol, debido a que, el alto potencial de diversificación de la planta le brinda una apertura de mercado para la producción de otros derivados, por lo tanto, es necesario contar con estándares de calidad nacionales e internacionales para evitar llegar a los límites máximos permisibles de cadmio en los alimentos que provocan el deterioro de la salud [15].

El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos del cadmio en los parámetros de crecimiento de cuatro variedades de caña de azúcar: Ragnar, Cenicaña, ECU01 y ECU02 que fueron cultivadas en la cuenca baja del río Guayas.

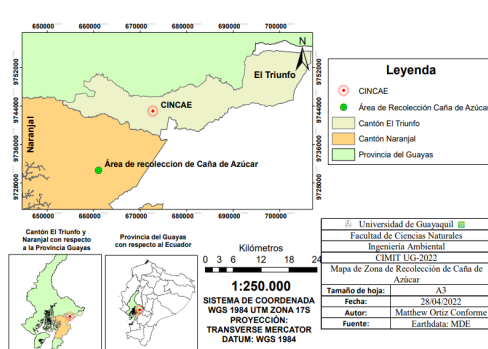
## 2. Materiales y métodos

Se seleccionaron muestras de 4 variedades de caña de azúcar, (1) Ragnar, (2) Cenicaña; (3) ECU-01 y (4) ECU-02 donadas por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE) recolectadas en el área de influencia de la cuenca baja del río Guayas (Figura 1). La caña de azúcar requiere un clima cálido para su desarrollo con una temperatura promedio entre 27 y 33 °C característico de la cuenca baja del río Guayas, estas condiciones favorecen las fases de germinación crecimiento y maduración de la planta [16]. Los requerimientos hídricos de la planta son de 1 200 a 1 500 mm anuales y una cantidad de luz solar constantes para potenciar el proceso de macollamiento en la planta [17]. Para este estudio se escogieron esquejes libres de patógenos entre siete y nueve meses de crecimiento. En la tabla 1 se muestran las coordenadas donde se recolectaron las muestras (esquejes).

**Tabla 1:** Coordenadas de ubicación de áreas de recolección de muestras.

Punto	X	Y
1	661015	9730584
2	660160	9730578
3	660166	9730899
4	661021	9730899
5	662009	9730903
6	662003	9730297
7	661665	9730298
8	661670	9730585
9	661015	9730584

En el área de influencia se recolectó y realizó el corte de plantas de cañas de azúcar en varias áreas locales productivas, que se dedican durante todo el año a la producción y comercialización de la materia prima del azúcar.



**Figura 1:** Zona de Recolección de plántulas.

Después de la recolección de las variedades de caña, los esquejes previamente seleccionados se lavaron con agua y jabón neutro, con la finalidad de eliminar las impurezas visibles en la caña de azúcar. A continuación, se procedió a realizar el debido corte de los esquejes, los cuales tuvieron seis centímetros de longitud y se dejó tres centímetros de cada lado del respectivo embrión/yema. Esto se ejecutó en 24 esquejes por cada una de las variedades, totalizando 96 muestras que luego fueron plantadas por cuadruplicado a cinco distintas concentraciones de cadmio más un grupo control (0 mg/kg de Cd).

### 2.1. Tratamiento Térmico

Según lo planteado por Risco (2019), los esquejes de cada variedad fueron separados y sumergidos en agua destilada a 50°C dentro de un horno térmico se mantuvieron a esa temperatura por 60 minutos, luego, se enjuagaron y sumergieron durante 1 minuto en agua destilada a temperatura ambiente. Cumpliendo los requisitos mencionados en cada ejemplar se procedió a realizar el tratamiento químico [18].

### 2.2. Tratamiento Químico

Las muestras fueron separadas por variedad y se sumergieron por cinco minutos en una solución de tebuconazol al 2%, luego de dicho baño químico se dejó secar y reposar durante 12 horas para el siguiente procedimiento de siembra [18].

### 2.3. Preparación del sustrato

El sustrato se preparó mediante una mezcla física de sustancias inorgánicas como limo, arena, arcilla y sustancias orgánicas como tamo de arroz, aserrín, guano y estiércol de ganado. El suelo fue recolectado y expuesto a descomposición por 4 meses, la composición físico-química del sustrato dio lugar a una textura franco-arenosa (Tabla 2).

### 2.4. Análisis preliminar del sustrato

Se analizó la composición físico-química del sustrato, comprobando que esté en condiciones óptimas para el crecimiento de las plántulas. Entre ellas, el potencial de hidrógeno (pH), capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de arena, arcilla y limo, porcentaje de materia orgánica, concentraciones de amonio, fósforo, potasio, calcio, magnesio y cadmio basal. Estos análisis fueron realizados en la Estación Experimental Tropical “Pichilingue” del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Para medir el pH se utilizó un potenciómetro; la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con un conductímetro, el porcentaje de arena, limo y arcilla se determinó mediante el método hidrométrico de Bouyoucos, el porcentaje de materia orgánica acorde a

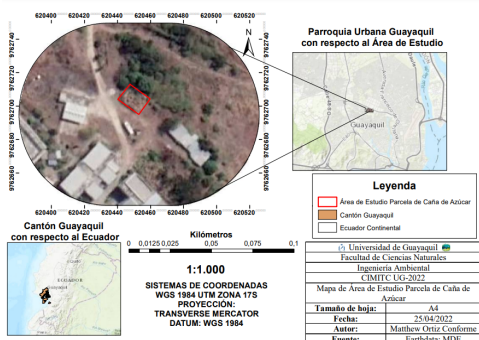
Welkley Black 1934. Posteriormente, se determinaron las concentraciones de amonio (NH<sub>4</sub>) y fósforo (P) por el método colorimétrico y para el análisis de los elementos K, Ca, Mg y Cd se utilizó espectrofotometría de absorción atómica. En la tabla 2 se muestran las condiciones iniciales del suelo.

**Tabla 2:** Coordenadas de ubicación de áreas de recolección de muestras.

Parámetro	Unidad	Promedio ± Desviación Estándar
pH	-	7,93 ± 0,06
CIC	meq /100 g	24,03 ± 0,73
% de Arena	%	72,67 ± 1,15
% de Limo	%	22,67 ± 1,15
% de Arcilla	%	4,67 ± 1,15
Materia Orgánica (MO)	%	11,67 ± 1,92
NH <sub>4</sub>	mg/kg	67,67 ± 10,07
P	mg/kg	84,33 ± 2,52
K	mg/kg	1,37 ± 0,05
Ca	mg/kg	12,00 ± 0,00
Mg	mg/kg	5,77 ± 0,55
Cd	mg/kg	0,43 ± 0,04

### 2.5. Contaminación del Suelo

Se utilizó el suelo óptimo, preparado de forma manual, al cual se añadió diversas soluciones de Cd para alcanzar las concentraciones 0, 0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/kg de Cd. El suelo contaminado se colocó en fundas de 10 Kg donde se sembró una planta por envase (funda de polietileno) (este procedimiento se realizó por cuadruplicado n=4 por tratamiento). Las plántulas se transfirieron a la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil (Figura 2), donde fueron regadas diariamente y se realizó monitoreo sobre los parámetros de crecimiento: altura, diámetro del tallo, número de esquejes y número de hojas de forma mensual durante 10 meses.



**Figura 2:** Ubicación de la parcela en estudio.

### 2.6. Preparación de las soluciones de cadmio

Se preparó el suelo de control aplicando exclusivamente agua destilada sin el metal pesado. Posteriormente, se realizaron soluciones de cadmio

para llegar a una concentración final en el suelo de 0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/kg Cd; para este fin se empleó la siguiente fórmula:

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f \tag{1}$$

Donde:

*C<sub>i</sub>* : Concentración inicial de cadmio.

*V<sub>i</sub>* : Volumen inicial de cadmio

*C<sub>f</sub>* : Concentración final de cadmio.

*V<sub>f</sub>* Volumen final de la solución.

### 2.7. Parámetros de crecimiento

Se procedió a medir la altura del tallo (cm) de cada plántula utilizando un flexómetro, mediante un vernier se determinó el diámetro de los tallos (cm) y se contabilizó el número de esquejes y hojas dentro del monitoreo mensual.

### 2.8. Índice de tolerancia

De acuerdo con Wilkins, (citado por Pernía, Añazco, Mero, Mayía y Cobos, 2021) el índice de tolerancia se calcula según la ecuación propuesta [19]:

$$IT = LR_m / LR_c \tag{2}$$

Donde:

*LR<sub>m</sub>* : Longitud de las plantas en presencia del cadmio.

*LR<sub>c</sub>* : Longitud de las plantas en el grupo control.

### 2.9. Porcentaje de Inhibición de Crecimiento

Para comprobar el efecto del cadmio, se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento (PIC) a los 300 días, el cual se calculó mediante la fórmula utilizada por Skidmore & Dickinson (1976) descrita a continuación [20].

$$PIC = [(C_1 - C_2) / C_1] \times 100 \tag{3}$$

Donde:

*C<sub>1</sub>* : Es el crecimiento del testigo.

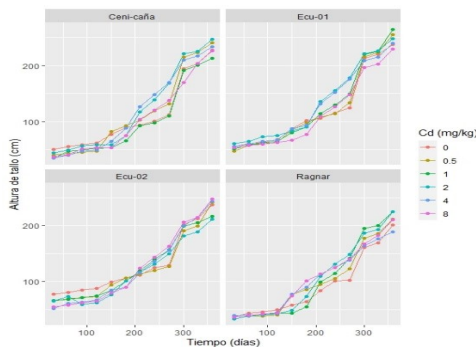
*C<sub>2</sub>* : Es el crecimiento de las plántulas contaminadas con (0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/kg Cd).

### 2.10. Pruebas Estadísticas

El diseño experimental se realizó de manera aleatoria. Se determinó la normalidad de los datos utilizando una prueba de Kolmogorov-Smirnov y homoscedasticidad mediante un test de Levene. Se compararon las medias entre tratamientos y variedades utilizando una prueba ANOVA de una vía, tomando  $p < 0,05$  como valor significativo y los resultados se verificaron por medio de una prueba de significancia de Tukey y para los datos no paramétricos se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis. Las medias y desviaciones estándar, así como los gráficos se realizaron utilizando RStudio v. 4.0.2

### 3. Resultados

El cadmio afectó significativamente la altura de los tallos de la caña de azúcar y por ello se consideró como el mejor indicador de fitotoxicidad de los parámetros analizados. En la Figura 3 se observa la tasa de crecimiento de los tallos durante los 300 días de exposición a diferentes concentraciones de cadmio, se aprecia un estímulo de crecimiento a las concentraciones de cadmio 2 y 4 mg/kg para las variedades de Cenicaña y ECU-01 así como una inhibición de crecimiento a 8 mg/kg. Por el contrario, las variedades Ragnar y ECU-02 fueron más tolerantes al cadmio, donde hubo un estímulo de crecimiento en todas las concentraciones.



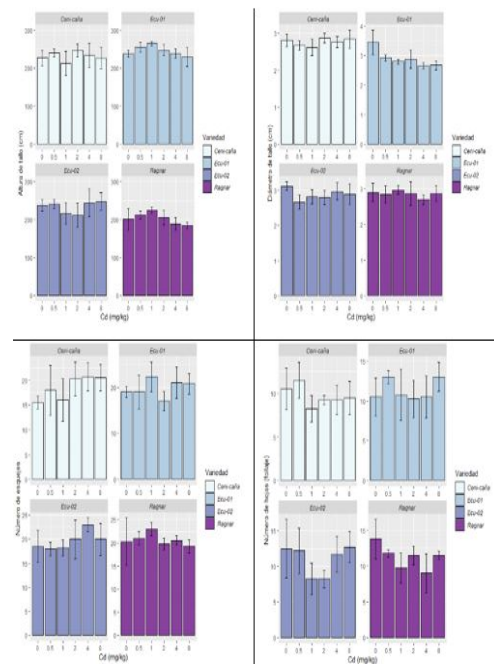
**Figura 3:** Tasa de Crecimiento después de la siembra de los tallos de las variedades Cenicaña, Ragnar, ECU-01 y ECU-02, expuestas a diferentes concentraciones de Cd (0, 0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/kg).

**Altura:** Se observó que en la variedad Cenicaña los tallos más altos se registraron a 2 mg/kg de Cd ( $221,00 \pm 10,86$  cm) y los más pequeños a 8 mg/kg de Cd ( $169,30 \pm 27,20$  cm) en comparación al control ( $194,50 \pm 19,42$  cm) con diferencias estadísticamente significativas ( $F= 3,22$ ;  $P= 0,030$ ). En la variedad Ragnar se apreció un estímulo de crecimiento a 1 mg/kg Cd ( $195,50 \pm 11,36$  cm) en comparación al control  $161,30 \pm 23,00$  ( $F= 4,73$ ;  $P=0,006$ ). Por otro lado, en ECU-01 y ECU-02 no se apreciaron diferencias ( $P \geq 0,05$ ).

**Diámetro:** En la variedad Cenicaña, Ragnar y ECU-02 no existen diferencias estadísticamente significativas en el diámetro del tallo entre los diferentes tratamientos comparados con el control ( $P \geq 0,05$ ) como se aprecia en la Figura 4. Por el contrario, existió una disminución en el diámetro del tallo de la variedad ECU-01 en todas las concentraciones de cadmio. Siendo la de menor diámetro el tallo expuesto a 4 mg/kg de Cd ( $2,50 \pm 0,27$  cm) comparadas con el control ( $3,30 \pm 0,18$ ) con diferencias estadísticamente significativas ( $F=4,49$ ;  $P=0,008$ ).

**Número de esquejes:** Este trabajo no encontró diferencias estadísticas en el número de esquejes en ninguna de las plántulas ( $P \geq 0,05$ ). Por lo que, se considera un parámetro poco significativo para evidenciar la presencia de cadmio en las variedades estudiadas.

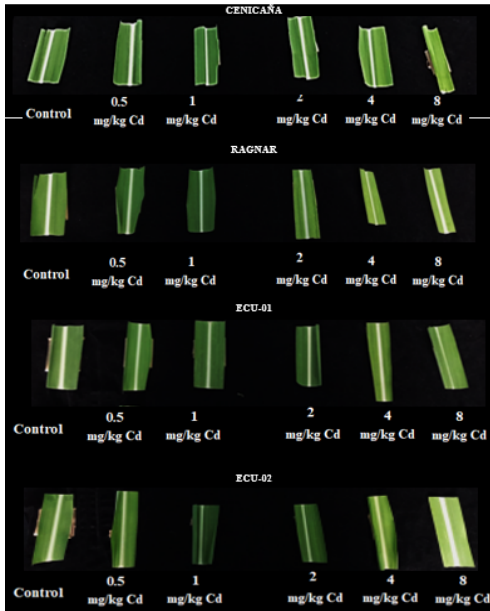
**Número de hojas (follaje):** La variedad Cenicaña presentó diferencia significativa en el número de hojas de las plantas expuestas a 8 mg/kg Cd en comparación al grupo control ( $F=3,03$ ;  $P=0,037$ ). De la misma manera la variedad Ragnar presentó una disminución en el número de hojas a 8 mg/kg de Cd ( $3,03 \pm 0,20$ ) en comparación con el control de  $3,60 \pm 0,19$  ( $F=3,66$ ;  $P=0,01$ ). En la variedad ECU-01 y ECU-02 no hubo diferencias en el número de hojas entre tratamientos ( $F=1,36$ ;  $P=0,28$ ).



**Figura 4:** Altura del tallo (cm), diámetro del tallo (cm), número de esquejes y número de hojas (follaje) en el día 300 de las variedades Cenicaña, Ragnar, ECU-01 y ECU-02, expuestas a diferentes concentraciones de Cd (0, 0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/kg).

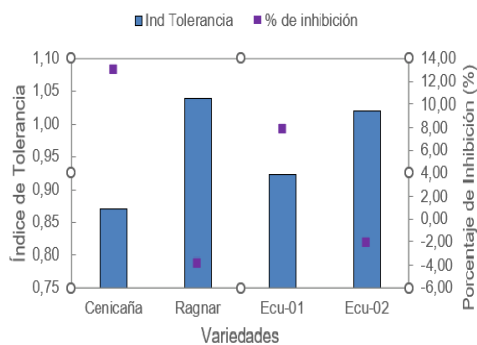
Se realizó una observación experimental a través de la recolección fotográfica de cada variedad.

Contrastando las hojas de control con las expuestas a concentraciones de cadmio (Cd) en 0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/kg respectivamente. Se observó una condición fisiológica anormal (clorosis) en las plantas expuestas a concentraciones iguales o mayores a 4 mg/kg (Figura 5).



**Figura 5:** Análisis de Clorosis en el día 300 de las variedades Cenicafía, Ragnar, ECU-01 y ECU-02, expuestas a diferentes concentraciones de Cd (0, 0,5, 1, 2, 4 y 8 mg/kg).

Índice de tolerancia: En base al análisis realizado en este estudio, se evidencia que las variedades más tolerantes fueron Ragnar (1,04) y ECU-02 (1,02) y las menos tolerantes ECU-01 (0,92) y Cenicafía (0,87) (Figura 6). Por otro lado, en cuanto al porcentaje de inhibición de crecimiento la variedad Cenicafía presentó el mayor porcentaje (12,98%) y la menor inhibición (-3,88%) se encontró en Ragnar, demostrando estímulo de crecimiento a 8 mg/kg de Cd.



**Figura 6:** Índice de tolerancia y Porcentaje de Inhibición de Crecimiento en el día 300 de las variedades Cenicafía, Ragnar, ECU-01 y ECU-02, expuestas a 8 mg/kg de Cd.

#### 4. Discusión

El cadmio (Cd) afectó de manera significativa el crecimiento de las cuatro variedades de caña de azúcar que se utilizaron en este estudio. Siendo la altura del tallo el mejor parámetro para analizar la toxicidad del metal pesado estudiado, resultado que coincide con los estudios de otros autores quienes manifiestan que la presencia del Cd en las plantas provoca inhibición de crecimiento tanto en raíces como en el tallo [21]. Las variedades Ragnar y ECU-02 presentaron un estímulo de crecimiento en todas las concentraciones. Con este resultado, queda demostrado que estas variedades fueron tolerantes a la presencia de cadmio. Dicha conclusión complementa los estudios realizados por Gallardo *et al.* (2019) donde las mismas variedades no presentaron efectos en la germinación cuando fueron expuestas a este [22]. El estímulo de crecimiento a bajas concentraciones de cadmio se ha descrito por otros autores como un proceso de hormesis y expuesto a altas concentraciones, una inhibición [23, 24, 19]. Fue el caso de las variedades de Cenicafía y ECU-01 que presentaron una reducción en la altura del tallo a 8 mg/kg de Cd. Estos resultados son similares al reportado por Gallardo *et al.* (2019) donde se observó que la variedad CC 85-92 fue la más tolerante a todos los tratamientos de cadmio y la única en presentar una respuesta hormética, la cual se manifestó como un estímulo en su crecimiento a 0,5 y 1 mg/L [22].

Respecto a esta inhibición de crecimiento, se confirma que las plantas ante la exposición al cadmio reducen su biomasa y su productividad. Esto es causado por la disminución de enzimas implicadas en la fotosíntesis y al déficit hídrico que este metal pesado genera causando clorosis, cuando se realiza el intercambio del Cd con el Fe o el Mg [25]. Esta inhibición en la síntesis de clorofila se pudo reflejar en el estudio como clorosis en hojas expuestas a 4 y 8 mg/kg de Cd, debido a que, al incorporarse este metal en la estructura de las plantas, se pueden generar afecciones como daños genómicos de crecimiento, desarrollo, alteración de proteínas y procesos de necrosis, clorosis y de reducción de la producción de biomasa en la planta [25].

Otro parámetro que se vio afectado fue el número de hojas, donde se apreció una reducción a 8mg/kg en Cenicafía y Ragnar. Existe la posibilidad que los niveles de cadmio más altos se encuentren en las hojas, como sucedió en el estudio de Barrezueta *et al.* (2021), donde los niveles de cadmio fueron los más altos en hojas de cacao; sin embargo, se debe analizar en hojas de caña de azúcar [10]. De acuerdo con Lagos y Castro (2019), dentro de los principales parámetros de crecimiento a tener en cuenta, como indicadores de mayor producción de caña de azúcar serían el diámetro del tallo y el número de esquejes, aunque en este estudio no se vieron afectados por el cadmio en todas las variedades [14].

## 5. Conclusiones

El cadmio afectó significativamente la altura de los tallos y por ello se consideró como el mejor indicador de fitotoxicidad de los parámetros de crecimiento analizados. La variedad Ragnar y ECU-02 fueron las cañas de azúcar con mayor tolerancia ya que presentaron un estímulo de crecimiento en las más altas concentraciones de Cd, en cambio, variedades más sensibles fueron ECU-01 y Cenicaña al presentar menor tolerancia.

El diámetro del tallo y el número de esquejes no presentaron diferencias significativas por lo que no se considera un buen parámetro de crecimiento para medir los efectos del cadmio en la caña de azúcar de las variedades analizadas. La variedad ECU-01 y Cenicaña no se recomienda cultivar en suelos contaminados con cadmio.

En este estudio, al analizar los parámetros de crecimiento de las variedades de caña de azúcar, se demostró los efectos del cadmio biodisponibles en suelo. Por lo que, se recomienda realizar ensayos de laboratorio para detectar la acumulación de este metal pesado en la biomasa vegetal y sacarosa, con el objetivo de garantizar la inocuidad alimentaria de los ecuatorianos.

## 6. Referencias

1. LEONARDO, Sergio; PINO PERALTA, Sergio; RENÉ, Hermes; AZUERO, Aguilar; ENRIQUE, Galo; LOAYZA, Apolo; ARCELIA, Lila y MOREJÓN, Sisalema. Contribution of the agricultural sector to the economy of Ecuador Critical analysis of its evolution in the period of dollarization. Years 2000 -2016. 2000. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/338013825\\_Contribution\\_of\\_the\\_agricultural\\_sector\\_to\\_the\\_economy\\_of\\_Ecuador\\_Critical\\_analysis\\_of\\_its\\_evolution\\_in\\_the\\_period\\_of\\_dollarization\\_Years\\_2000\\_-2016](https://www.researchgate.net/publication/338013825_Contribution_of_the_agricultural_sector_to_the_economy_of_Ecuador_Critical_analysis_of_its_evolution_in_the_period_of_dollarization_Years_2000_-2016).
2. OECD; FOOD y UNITED NATIONS, Agriculture Organization of the OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030. 2021, pág. 362. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es>.
3. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [En línea]. FAO,2022 Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>.
4. *Toxicological Profile For Cadmium* [En línea]. ATSDR,2012 Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>.
5. Interactions between plant hormones and heavy metals responses. *Genetics and Molecular Biology* [En línea]. 40(1), 373-386. ISSN 1678-4685. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2016-0087>.
6. Ecotoxicología del cadmio riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio [En línea]. CASERMEIRO Miguel (tutor) [Tesis de Grado]. Universidad Complutense Madrid, Madrid, 2016 Disponible en: [https://eprints.ucm.es/id/eprint/49137/1/CARMEN%20CORREA%20GARCIA%20\(1\).pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/49137/1/CARMEN%20CORREA%20GARCIA%20(1).pdf).
7. CONDO-FRANCO, Joela y PERNÍA, Beatriz (2021). Determinación de niveles de cadmio en granos de maíz (*Zea mays* L.) de la costa y sierra ecuatoriana. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales* [En línea]. 12(2), 66-74. Disponible en: <https://doi.org/10.53591/cna.v12i2.285>.
8. MITE, Francisco; CARRILLO, Manuel y DURANGO, Wuellins. AVANCES DEL MONITOREO DE PRESENCIA DE CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO, SUELOS Y AGUAS EN ECUADOR. *ResearchGate* [En línea]. [s.f.]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/304346639\\_AVANCES\\_DEL\\_MONITOREO\\_DE\\_PRESENCIA\\_DE\\_CADMIO\\_EN\\_ALMENDRAS\\_DE\\_CACAO\\_SUELOS\\_Y\\_AGUAS\\_EN\\_ECUADOR](https://www.researchgate.net/publication/304346639_AVANCES_DEL_MONITOREO_DE_PRESENCIA_DE_CADMIO_EN_ALMENDRAS_DE_CACAO_SUELOS_Y_AGUAS_EN_ECUADOR).
9. TAPIA, Lorena. Acuerdos 097-A. Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria. *Vlex* [En línea]. [s.f.]. Disponible en: <https://app.vlex.com/#vid/645825397>.
10. BARREZUETA, Salomon; ARMIJOS, Ivana y VEGA, Erick (2021). Comparación de niveles de cadmio en hojas, testa y almendra en cultivares de *Theobroma*

- cacao. *CIENCIA UNEMI* [En línea]. 37(14), 73–80. ISSN 2528-7737. Disponible en: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss37.2021pp73-80p>.
11. CHAVEZ, E.; HE, Z.; STOFFELLA, P.; MYLAVARAPU, R.; LI, Y.; MOYANO, B. y BALIGAR, V. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of The Total Environment* [En línea]. 533(14), 205–214. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>.
  12. FELIX, Imelda; MITE, Francisco; CARRILLO, Manuel y PINO, Mariella (2002). Avances de Investigación del Proyecto Determinación de Metales Contaminantes en Cultivos de Exportación y su Repercusión sobre la Calidad de los mismos. *studylib* [En línea]. 2013 - 2022 Disponible en: <https://studylib.es/doc/3431296/avances-de-investigaci%C3%B3n-del-proyecto-determinaci%C3%B3n-de-me...>
  13. BARRAZA, F.; SCHRECK, E.; LEVEQUE, T.; UZU, G.; LOPEZ, F.; RUALES, J.; PRUNIER, J.; MARQUET, A. y MAURICE, L. (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution* [En línea]. 229, 950-963. ISSN 0269-7491 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>.
  14. LAGOS, Elizabeth y CASTRO, Edwin (2019). Sugar cane and by-products of the sugar agro-industry in ruminant feeding: A review. *Agronomia Mesoamericana* [En línea]. 30(3), 917-934. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>.
  15. CORDOVA, (2017). PAPEL ARTESANAL DE PAJA DE CAÑA DE AZÚCAR. *Agro* [En línea]. Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/66>.
  16. *Informe Anual 2021* [En línea]. CINCAE, 2022. Disponible en: <https://cincae.org/wp-content/uploads/2022/06/Informe-Anual-2021.pdf>.
  17. TAPIA, Juan (2012). Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del Río Guayas en la producción de caudales y sedimentos. *Repo Abreviatura* [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.35537/10915/23364>.
  18. AGUIRRE, Henry; ALVARADO, Dario; RISCO, Carla; ARELLANO, Ana; MERO, Mariuxi; PERNIA, Beatriz y GALLARDO, Alejandro (2019). Efectos del cadmio sobre la germinación y biomasa en variedades de caña de azúcar de la cuenca baja del Guayas. *Revista Científica Ciencias Naturales Y Ambientales* [En línea]. 13(1). 65-72 ISSN 0120-2812 .Disponible en: <https://doi.org/10.53591/cna.v13i1.354>.
  19. PERNIA, Beatriz; AÑAZCO, Karen; MERO, Mariuxi; MAYIA, Yerimar y COBOS, Patricio (2021). Efectos del cadmio sobre la germinación y crecimiento inicial de cinco variedades de *Oryza sativa* L. cultivadas en Ecuador. *Acta Agronómica* [En línea]. 70(1). ISSN 0120-2812 .Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v70n1.87636>.
  20. SKIDMORE, A. y DICKINSON, C. (1976). Colony interactions and hyphal interference between *Septoria nodorum* and phylloplane fungi. *Transactions of the British Mycological Society* [En línea]. 66(1), 57-64. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(76\)80092-7](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(76)80092-7).
  21. GUOSHENG, Shao; XIUFU, Zhang y GUOPING, Zhang (2004). Effects of cadmium stress on plant growth and antioxidative enzyme system in different rice genotypes. *Search life-sciences literature* [En línea]. 18(3), 239-244. Disponible en: <https://europepmc.org/article/cba/399457>.
  22. BGALLARDO, A.; PERNÍA, B.; MERO, M.; ARELLANO, A.; RISCO, C.; ALVARADO, D. y AGUIRRE, H. (2019). Efectos del cadmio sobre la germinación y biomasa en variedades de caña de azúcar



- de la cuenca baja del Guayas. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales* [En línea]. 13(1), 65-72. Disponible en: <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/view/354>.
23. AGUIRRE, Henry; VITERI, Patricio; PAMELA y MAYIA, Yerimar (2022). Fitotoxicidad del cadmio sobre la germinación y crecimiento inicial de variedades de maíz Ecuatorianas. *Bioagro* [En línea]. 34(1), 3-14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.51372/bioagro341.1>.
24. JALAL, Arshad; OLIVERA, Jose; SANTOS, Janaina; CARLOS, Guilherme; GUERRA, Giovana; REZENDE, Vanessa y RODRIGUES, Andre (2021). Hormesis in plants: Physiological and biochemical responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [En línea]. 207.111225. ISSN 0147-6513. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2020.111225>.
25. RAVEN, Klaus (2018). Efectos del cadmio sobre el crecimiento y la composición elemental de la alfalfa en cultivo de arena. *Dialnet* [En línea]. 79(2). 406-414 ISSN 2519-7398 Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6830799>.



Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una **Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional**. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y estén debidamente citados bajo la misma licencia.