

# Evaluación de la afectación del contaminante emergente, amoxicilina, en el crecimiento de *Capsicum annum* y *Cajanus cajan*

## Evaluation of the impact of the emerging contaminant, amoxicillin, on the growth of *Capsicum annum* and *Cajanus Cajan*

Yanis E. Caballero S.<sup>1</sup>, Ceilin K. Batista C.<sup>1</sup>, Yerica E. González R.<sup>1</sup>, Viccelda Domínguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Hidráulica, Sanitaria y Ciencias Ambientales

\*Autor de correspondencia: [viccelda.dominguez@utp.ac.pa](mailto:viccelda.dominguez@utp.ac.pa)

**RESUMEN.** La amoxicilina (AMX) es uno de los antibióticos más consumidos a nivel de América Latina y en Panamá. Considerada contaminante emergente, cuenta con una baja tasa metabólica en humanos; entre el 80% y el 90% de la AMX se libera en el medio ambiente. La AMX se utiliza ampliamente en animales y suele mezclarse con el alimento del ganado en niveles de 250-400 mg/kg debido a su resistencia al fluido gástrico. Por lo tanto, existe el riesgo de que, a través de las rutas mencionadas anteriormente, la AMX pueda llegar al suelo, ser absorbida por los cultivos y entrar en la cadena alimentaria. Esta investigación busca evaluar el efecto de la AMX en el crecimiento de *Capsicum annum* y *Cajanus cajan*. Utilizando una metodología de dosificación con concentraciones de [1, 10, 20 (mg/L)] y plantas de control, se evaluó el crecimiento de las plantas considerando factores de temperatura en relación con el tiempo. Además, se llevó a cabo un análisis estadístico R Studio para determinar análisis descriptivos sobre cómo la AMX afecta a las plantas; se midieron los pH registrados al inicio, durante y finalizada la dosificación para definir el comportamiento de la AMX en el suelo. Los resultados muestran que a concentraciones bajas de AMX (1 mg/L) pueden estimular el crecimiento de *C. annum* y *C. cajan*, mientras que concentraciones más altas (10 mg/L y 20 mg/L) reducen el crecimiento, especialmente en *C. cajan*. Los valores para el pH del suelo al finalizar mostraron un pH ligeramente ácido (6.93). Se sugiere usar cromatógrafo-espectrómetro de masas para verificar la absorción de AMX, extender el estudio para efectos a largo plazo e investigar en distintos suelos.

**Palabras clave.** Amoxicilina, antibiótico, concentración, dosificación, plantas.

**ABSTRACT.** Amoxicillin (AMX) is one of the most widely consumed antibiotics in Latin America and Panama. Classified as an emerging contaminant, it has a low metabolic rate in humans, with 80-90% being released into the environment. AMX is extensively used in animals, often mixed with livestock feed at levels of 250-400 mg/kg due to its resistance to gastric fluid. Consequently, there is a risk that AMX may reach the soil, be absorbed by crops, and enter the food chain. This study aims to evaluate the effect of AMX on the growth of *Capsicum annum* and *Cajanus cajan*. Using a dosing methodology with concentrations of 1, 10, and 20 mg/L, along with control plants, the growth of the plants was assessed considering temperature factors over time. Additionally, statistical analysis was conducted using R Studio to determine descriptive statistics on how AMX affects the plants; soil pH was measured at the beginning, during, and after dosing to understand AMX behavior in the soil. The results indicate that low concentrations of AMX (1 mg/L) can stimulate the growth of *C. annum* and *C. cajan*, while higher concentrations (10 mg/L and 20 mg/L) reduce growth, particularly in *C. cajan*. The final soil pH values showed a slightly acidic pH (6.93). It is recommended to use a liquid chromatography-mass spectrometry tandem to verify AMX absorption, extend the study for long-term effects, and investigate different soil types.

**Keywords.** Amoxicillin, antibiotic, concentration, dosage, plants.

**Citación:** Y. Caballero, C. Batista, Y. González y V. Domínguez, "Evaluación de la afectación del contaminante emergente, amoxicilina, en el crecimiento de *Capsicum annum* y *Cajanus cajan*", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 20, no. 2, pp. (0), 2024.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 18 de noviembre de 2023. **Recibido con correcciones:** 21 de junio de 2024. **Aceptado:** 21 de junio de 2024.

**DOI:** <https://doi.org/10.33412/idt.v20.2.4063>

**Copyright:** 2024 Y. Caballero, C. Batista, Y. González y V. Domínguez. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## 1. Introducción

La amoxicilina (AMX), un antibiótico derivado de la penicilina.[1] La AMX es considerada como contaminante emergente, debido a que se desconoce el impacto ambiental y los efectos que pueden provocar sus compuestos.[2] La AMX es uno de los antibióticos más consumidos en América Latina y en distintos países del mundo. [3,4] En Panamá, se realizó un estudio sobre el uso de los antibióticos en la población asegurada en las diez provincias del país durante el período de 2015 al 2018. Durante este periodo, la AMX de 500 mg obtuvo una dosis diaria definida (DDD) por población asegurada de 1660 mg, superior a la DDD internacionalmente establecida. [5]

Dicho antibiótico tiene una tasa metabólica muy baja en los seres humanos, ya que entre el 80% y el 90% de la AMX se libera en el medio ambiente sin cambios. Sus propiedades se detallan en la tabla 1. [3] Se ha demostrado su presencia en plantas de tratamiento de aguas residuales, con concentraciones en el agua que oscilan entre 0,2 mg/L y 0,3 mg/L. [6] Estas concentraciones también pueden encontrarse en los lodos residuales, los cuales a veces se utilizan para mejorar los suelos y aunque en Panamá es obligatorio que se sometan a tratamientos de eliminación de contaminantes antes de ser incorporados al suelo, estos tratamientos no establecen límites permisibles para antibióticos. [7]

**Tabla 1.** Información de las propiedades del antibiótico (amoxicilina) [3]

Amoxicilina				
Grupo	Compuesto	Fórmula	MW(g/mol)	LogKow
Penicilina	Amoxicilina	C <sub>16</sub> H <sub>19</sub> N <sub>3</sub> O <sub>5</sub> S	365,41	0.87

La AMX se utiliza ampliamente en animales y generalmente se mezcla con el alimento del ganado a niveles de 250-400 mg/kg debido a su resistencia al fluido gástrico. [8]

Por lo tanto, existe un riesgo evidente de que, a través de las rutas mencionadas anteriormente y con la ayuda de infiltraciones y escorrentía de aguas contaminadas, la AMX y otros antibióticos puedan llegar al suelo, ser absorbidos por los cultivos y, de esta manera, ingresar a la cadena alimentaria. [2,9]

La absorción de la AMX en los cultivos ha sido demostrada mediante un estudio realizado por [10], en el cual se indicó que las plantas de zanahoria y lechuga absorbieron el antibiótico del suelo, detectándose niveles de AMX entre 14 ng/g y 45 ng/g en esos cultivos. Esto sugiere que estas bajas concentraciones de antibióticos encontradas en las plantas podrían ser importantes para provocar resistencia a los antibióticos cuando se consumen estos niveles.

El uso intensivo de los antibióticos ha generado resistencia. [11] Según los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) señalan que cada año mueren al menos

700.000 personas debido a que los fármacos antimicrobianos han perdido eficacia frente a los patógenos resistentes. [12]

Para este estudio, se utilizaron las plantas *Cajanus cajan* (guandú) y *Capsicum annum* (ají pimentón). La especie *C. cajan* ha sido utilizada en estudios de dosis y respuesta, por ejemplo, para evaluar el efecto de aplicación de abonos orgánicos. [13] La especie *C. annum* ha sido empleada en muchos estudios para evaluar el efecto y respuesta luego de la aplicación de insecticidas y abonos orgánicos. [14,15]

Ambas plantas son cultivadas en Panamá y tienen una gran demanda [16,17]. Durante el periodo 2019-2020, se cosecharon 289 t de *C. cajan* y 7140 t de *C. annum* a nivel nacional. [18]

El suelo donde se sembraron las plantas es de tipo orgánico. Un estudio demostró que los suelos con una mayor capacidad de adsorción de AMX son aquellos con pH más ácido (<5,5) y un alto contenido de materia orgánica y minerales de baja cristalinidad, características que corresponden a los suelos forestales y, en ocasiones, a los suelos de cultivo. [9] Es importante mencionar que en Panamá predominan los suelos ácidos. [19]

En Panamá, solo se han realizado estudios eco toxicológicos sobre el contaminante emergente ácido acetilsalicílico con cafeína [20], el cual es un antipirético y analgésico. Sin embargo, no se han llevado a cabo investigaciones sobre antibióticos, como la AMX. Es crucial estudiar el efecto que los antibióticos pueden tener en los cultivos y su capacidad para ser absorbidos por las plantas. Por lo tanto, este proyecto busca contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [21], específicamente el ODS 3, ODS 12, ODS 6 y ODS 15. El objetivo principal es evaluar el efecto de la AMX en el crecimiento de *C. annum* y *C. cajan*, con el propósito de llenar el vacío de conocimiento en esta área de estudio en Panamá.

## 2 Materiales

### 2.1 Materiales

Se utilizaron plantas nacionales de *C. annum* y *C. cajan*, suelo orgánico caracterizado por su alto contenido de materia orgánica descompuesta, envases de Tetrapak, regla, agua destilada, AMX, pH metro, balanza analítica OHAUS-Pioneer, Excel, y software estadístico RStudio 2024.04.2.764. [26]

### 2.2 Recolección de materiales y obtención del suelo

Se obtuvieron muestras triplicadas de plantas de *C. annum* y *C. cajan* (doce muestras de cada una) para la experimentación. Estas fueron recolectadas en un vivero en la localidad de Chicá, Panamá Oeste, Panamá, bajo condiciones de 30.7°C.

Plantas con altura promedio de 9.6 cm para *C. annum* y 30.8 cm para *C. cajan*. Se utilizaron 24 envases de Tetrapak con dimensiones de 13 cm de altura y 10 cm de ancho para

disponer las plantas.

El suelo orgánico necesario para este experimento se adquirió en una tienda local debido a que contiene minerales que contribuyen al crecimiento de las plantas. [22]

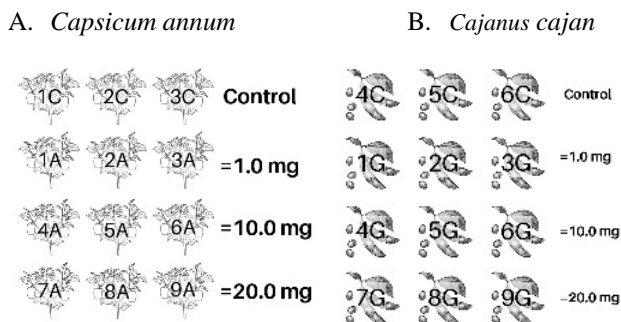
### 2.1 Ubicación y área de siembra

Las muestras triplicadas se colocaron en sus respectivas macetas con suelo orgánico para cada planta. Estas macetas fueron ubicadas en las Áreas Verdes del Campus Central Dr. Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá, con coordenadas 9°01'14"N 79°32'02"W, para facilitar su monitoreo.

## 3 Metodología

### 3.1 Diseño de muestra mediante dosificación diaria

Para las muestras expuestas a la amoxicilina, se llevaron a cabo tres réplicas tanto para el *C. annum* como para el *C. cajan*. Cada maceta se regó individualmente con la dosis de AMX correspondiente respecto al peso del suelo, la dosis es pesada con una balanza analítica OHAUS-Pioneer, esto durante un período de siete días, manteniendo un triplicado para el grupo de control. El protocolo de dosificación para ambos tipos de plantas se adaptó y modificó según el trabajo de David Azanu y Christiana Mortey [10].



**Figura 1.** (A) Dosis diaria del antibiótico correspondiente a una dosis por tres plantas con tres plantas de control. (B) Dosis diaria del antibiótico correspondiente a una dosis por tres plantas con tres plantas de control.

### 3.2 Procedimiento de la dosificación del *Capsicum annum* y *Cajanus cajan*

Se llevó a cabo la dosificación de antibióticos a diferentes concentraciones en cada maceta, utilizando métodos adaptados de Qiutong Xu y Mingkui Zhang [22]. Cada maceta contenía 0.68 kg de suelo [10]. Se aseguró de que cada kilogramo de suelo orgánico no contuviera estiércol animal para evitar la presencia de otros antibióticos provenientes de fertilizantes orgánicos. Posteriormente, se procedió con la trasplantación de las plantas a las macetas que contenían el suelo orgánico. Se llevó a cabo el proceso de pesaje de AMX en el laboratorio

utilizando la balanza analítica OHAUS-Pioneer para la dosificación triplicada de las plantas con 1.0 mg, 10.0 mg y 20.0 mg. Cada dosis se extraía diariamente para el alcance de seis plantas, tres de *C. annum* y tres de *C. cajan*.

La dilución correspondiente utilizada fue de 0.071 L de agua destilada, extraída mediante un análisis de regla de tres y adaptada de David Azanu y Christiana Mortey [10]. Cada maceta se separó por distancias de 0.1 m sobre una madera para evitar el contacto directo con el suelo. Además, se colocó bajo techo para evitar el contacto con las aguas pluviales. Con los parámetros ya establecidos, se inició el tiempo de dosificación diaria por siete días del antibiótico AMX, comenzando el día quince de mayo de 2023 a las 12:00 p.m. y finalizando el veintiuno de mayo de 2023. Las muestras de control fueron dosificadas únicamente con agua destilada.

### 3.3 Metodología para el análisis del suelo

Se lleva a cabo un muestreo diario para obtener datos sobre las características físicas de las plantas y el pH del suelo antes de la dosificación. Al final del tratamiento, se realiza un análisis del suelo para medir su pH y estudiar su calidad tras la exposición al antibiótico. Se utiliza el análisis de concentración de AMX para detectar su presencia en el suelo durante el estudio.

### 3.4 Análisis estadístico

Para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras de cultivos (*C. annum* y *C. cajan*) y sus medias con respecto a las dosis a las que serán sometidas, se realizó utilizando paquetes de Excel y software estadístico RStudio 2024.04.2.764. [26] para la elaboración de bases de datos, análisis de estadística descriptiva, gráficas de cajas y curva de crecimiento de ambos tipos de cultivos. Esta metodología se ha adaptado de Estivarez [25].

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Análisis de pH de suelo orgánico en dos tipos de plantas (*Capsicum annum* y *Cajanus cajan*).

Después de la dosificación con diferentes concentraciones de AMX (1 mg/L, 10 mg/L, 20 mg/L), se registró una disminución en el pH del suelo como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** pH inicial, pH dosificación, pH final, de suelo orgánico

Prueba de pH Suelo			
Muestras	pH (Inicial)	pH (Dosificación)	pH (Final)
CG	7.16	7.14	7.1
G1	-	7.06	6.79
G10	-	6.93	6.56

<b>G20</b>	-	6.92	6.32
<b>CA</b>	7.17	7.15	7.11
<b>A1</b>	-	7.01	6.73
<b>A10</b>	-	6.95	6.71
<b>A20</b>	-	6.91	6.48

Después de la dosificación con diferentes concentraciones de AMX (1 mg/L, 10 mg/L, 20 mg/L), se registró una disminución en el pH del suelo. Para *Cajanus cajan*, la reducción del pH fue del 3.8% a una concentración de 1 mg/L, del 5.3% a una concentración de 10 mg/L, y del 8.7% a una concentración de 20 mg/L. Para *Capsicum annuum*, la reducción del pH fue del 4.0% a una concentración de 1 mg/L, del 3.5% a una concentración de 10 mg/L, y del 6.2% a una concentración de 20 mg/L. Estos resultados indican una acidificación del suelo, ya que el pH de la amoxicilina en agua destilada oscila entre 3.5 y 6.0, como se muestra en la tabla 2.

#### 4.2 Evaluación Descriptiva del Crecimiento - Ají (*Capsicum annuum*)

Las muestras control (CA1, CA2, CA3) presentan medias de crecimiento entre 9.57 y 9.93, y medianas entre 9.6 y 9.9, reflejando un crecimiento estable sin AMX como se presenta en la tabla 3.

**Tabla 3.** Estadística descriptiva del ají bajo diferentes concentraciones de amoxicilina

Muestra	Media	Mediana	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo
<b>CA1</b>	9.57	9.6	± 0.0756	9.6	9.4
<b>CA2</b>	9.93	9.9	± 0.373	10.3	9.5
<b>CA3</b>	9.63	9.7	± 0.214	10	9.4
<b>A1</b>	10.2	10	± 0.488	11.5	9.8
<b>A10</b>	10.8	11	± 0.663	12	9.9
<b>A20</b>	9.87	10	± 0.389	10.5	9.2

En contraste, las muestras triplicadas con AMX a 1 mg/L (A1), 10 mg/L (A10) y 20 mg/L (A20) muestran variaciones en las medias: A1 (10.2) y A10 (10.8) indican una estimulación del crecimiento, mientras que A20 (9.87) no muestra un

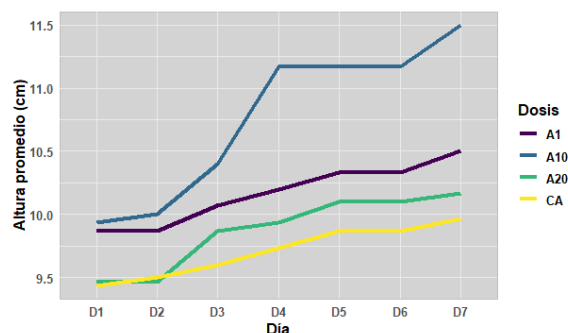
incremento proporcional, sugiriendo que altas concentraciones pueden tener efectos negativos, consistente con [22].

Las desviaciones estándar de las muestras control (0.0756-0.373) son bajas, indicando poca variabilidad. Por otro lado, las muestras dosificadas tienen mayores desviaciones (0.488-0.663) como se muestra en la tabla 3, sugiriendo una mayor variabilidad debido a la dosificación de AMX.

El rango de crecimiento también varía significativamente: las muestras control tienen un rango estrecho de 9.4 a 10.3 resumido de la tabla 3, mientras que las muestras dosificadas, especialmente A10 (9.9-12), presentan una mayor amplitud, indicando una mayor variabilidad en respuesta a la dosificación.

Esto sugiere que concentraciones elevadas de amoxicilina pueden estresar las plantas, provocando efectos negativos en su desarrollo. Por lo tanto, esto indica que tanto la concentración como la duración de la exposición son factores importantes que influyen en los efectos de AMX en el cultivo como indica Maldonado [23].

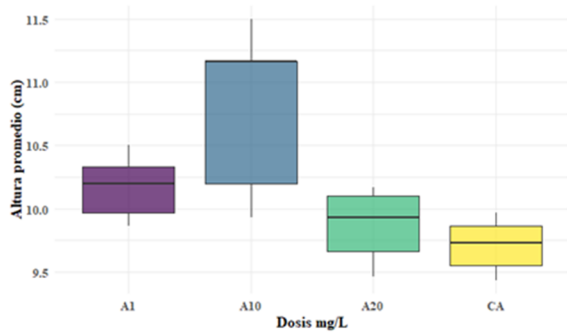
En la Figura 2, se observó que las dosis de AMX pueden ser absorbidas en pequeñas proporciones, como indica Azanu [10].



**Figura 2.** Curva de crecimiento del Ají- *Capsicum Annum*

Debido a que es un compuesto insoluble en agua, las partículas quedan en la capa superficial del suelo, lo que provoca que la absorción sea relativamente lenta para las dosis más altas en comparación con las dosis de menor concentración. Por otro lado, las plantas control no tuvieron el resultado esperado, manteniéndose en una media de 9 cm. Esto podría deberse a la contaminación del suelo con antibióticos dado que cualquier alteración que afecte la materia orgánica puede resultar en la liberación de antibióticos retenidos en formas biodisponibles [11].

Para el diagrama de cajas mostrado en la figura 3, La dosis A1 resultó en una altura promedio de las plantas de alrededor de 10 cm, con una dispersión moderada.



**Figura 3.** Diagrama de caja de la respuesta del Aji- *capsicum annum* a la dosificación de AMX.

En contraste, las plantas tratadas con la dosis mostraron una mediana de crecimiento mayor, aproximadamente 11 cm, y una alta variabilidad, lo que indica un crecimiento significativo como se muestra en la figura 3, por otro lado, la dosis A20 presentó una mediana de altura similar a la de A1, con una baja variabilidad, la gráfica de caja no presenta un recorrido muy amplio entre sus conjuntos. Las plantas del control (CA) mostraron la menor altura promedio, alrededor de 10 cm, similar a las dosis más bajas. Las dosis más bajas (A1) y más altas (A20) no mostraron un incremento significativo en comparación con el control, lo que podría indicar una absorción subóptima o efectos tóxicos a concentraciones más altas.

El poco crecimiento de la planta control puede ser indicativo de múltiples factores, Según Mundarain [24], es importante considerar que los factores fisicoquímicos del suelo y los ambientales pueden influir en la absorción de nutrientes, especialmente en términos de posibles efectos negativos. En condiciones de suelo desfavorables, como pH extremo o baja disponibilidad de nutrientes, podrían afectar la capacidad de las plantas para metabolizar de manera efectiva. Del mismo modo, condiciones ambientales adversas como altas temperaturas o sequedad del suelo podrían alterar la absorción o aumentar el riesgo de fitotoxicidad.

### 4.3 Evaluación descriptiva de muestras de guandú (*Cajanus Cajan*)

La evaluación estadística del crecimiento del *Cajanus cajan* se presenta en la tabla 4, comparando muestras control (sin AMX) y muestras triplicadas tratadas con 1 mg/L, 10 mg/L y 20 mg/L (G1, G10, G20).

**Tabla 4.** Estadística descriptiva del crecimiento del ají bajo diferentes concentraciones de amoxicilina

Muestra	Media	Mediana	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo
CG1	33	31	± 3.76	37	29.4
CG2	39.1	39.3	± 1.58	41	37
CG3	32.6	32.5	± 0.348	33	32
G1	33.5	34	± 1.41	35	30.2
G10	31	30	± 3.41	36	27
G20	29	28.3	± 1.94	32.7	26.4

Las muestras control mostraron una variabilidad significativa en las medias de crecimiento (32.6 a 39.1) y en las desviaciones estándar (0.348 a 3.76), indicando condiciones variables sin intervención.

En contraste, las muestras tratadas exhibieron respuestas divergentes según la concentración de AMX. G1 mostró un crecimiento promedio relativamente alto (33.5) y una desviación estándar moderada (1.41), sugiriendo una respuesta consistente y potencialmente beneficiosa del guandú a esta dosis baja. Sin embargo, G10 presentó la menor media de crecimiento (31) y la desviación estándar más alta (3.41), indicando una respuesta menos predecible y posiblemente adversa a la concentración intermedia de AMX. Por otro lado, G20 mostró el menor crecimiento promedio (29), pero una desviación estándar moderada (1.94), lo que podría indicar una respuesta más consistente, aunque menos favorable en términos de crecimiento absoluto.

Estos hallazgos destacan la relevancia de las concentraciones bajas de antibióticos en las plantas y su posible implicación en la resistencia a los antibióticos cuando se trata en niveles similares de concentración como indica Azanu [10].

En la Figura 4, basándonos en las dosificaciones registradas en comparación con las muestras de plantas control, se observó que, para las muestras de Guandú (*Cajanus cajan*), la absorción de nutrientes fue mayor para las dosis de 1 mg/L.



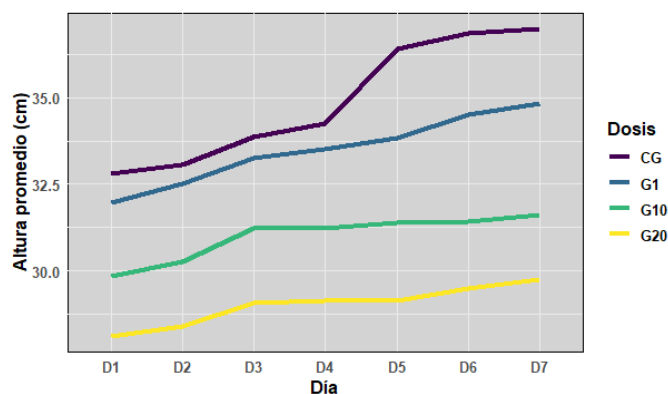


Figura 4. Curva de crecimiento Guandú- *Cajanus cajan*

Al suministrarse en pequeñas cantidades, no alteró el proceso de crecimiento de la planta; sin embargo, se observó que a medida que aumentaba la concentración (mg/L), menor era el crecimiento con respecto a las otras muestras.

En el tratamiento de AMX (A1), las plantas alcanzaron una altura mediana de 10.2 cm con baja variabilidad, indicando una respuesta uniforme y sin valores atípicos significativos como se muestra en la figura 5.

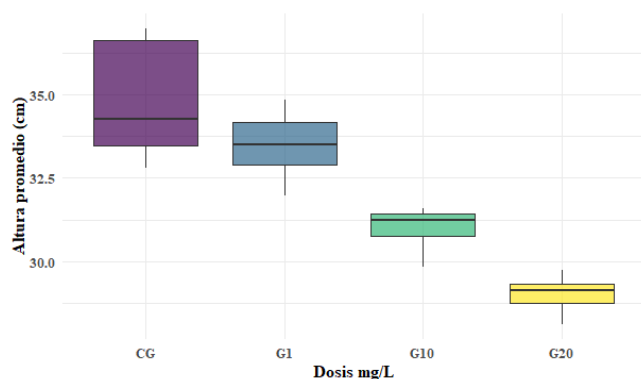


Figura 5. Diagrama de caja de la respuesta del Ají- *Capsicum annuum* a la dosificación de AMX

El tratamiento con dosis de (A10) resultó en la mayor altura mediana de 10.8 cm, aunque con una mayor dispersión de datos, sugiriendo un crecimiento más notable pero también una respuesta más variable entre las plantas.

Para la dosis (A20), la altura mediana fue de 10.1 cm, similar al grupo control (CA) que mostró la menor mediana de 10.0 cm. La baja variabilidad en A20 y el control sugiere que la dosis alta no es más efectiva que la dosis baja, y las diferencias observadas se deben al tratamiento con AMX que podrían indicar efectos adversos como la resistencia como indica Martínez [24].

#### 4.4 Comparación descriptiva de muestras de Ají- *Capsicum annuum* y Guandú-*Cajanus Cajan*.

Las muestras tratadas con AMX (A1, A10, A20) mostraron diferencias significativas en sus respuestas. A1 y A10 exhibieron aumentos en las medias de crecimiento (10.2 y 10.8 respectivamente), con desviaciones estándar más altas, que oscilaron entre 0.488 y 0.663. Esto sugiere una variabilidad más amplia en la respuesta del crecimiento de las plantas a concentraciones moderadas de AMX, con rangos de  $\pm 0.244$  a  $\pm 0.331$ .

En contraste, A20 mostró una media de crecimiento de 9.87, similar a las muestras control, con una desviación estándar más moderada ( $\pm 0.329$ ). Esto podría indicar una respuesta menos uniforme a concentraciones más altas de AMX, con un rango de  $\pm 0.329$  en relación con la media.

Comparando ambos grupos, las muestras control exhibieron una respuesta consistente y predecible, con desviaciones estándar bajas y un rango de crecimiento estrecho ( $\pm 0.15$  a  $\pm 0.74$ ). Por el contrario, las muestras tratadas con AMX mostraron una mayor variabilidad en las medias de crecimiento y desviaciones estándar más altas, especialmente a concentraciones intermedias de 1 mg/L y 10 mg/L ( $\pm 0.244$  a  $\pm 0.663$ ).

Las concentraciones detectadas en las plantas (zanahoria y lechuga) [10], están significativamente por debajo de las dosis utilizadas en el estudio de crecimiento de Guandú (*Cajanus cajan*). Sin embargo, la presencia de AMX en las plantas incluso en concentraciones bajas plantea la preocupación sobre el desarrollo de resistencia a los antibióticos. Esto sugiere que incluso exposiciones a niveles relativamente bajos de AMX podrían tener implicaciones a largo plazo en términos de resistencia, aunque los efectos directos en el crecimiento de las plantas pueden variar dependiendo de la dosis y la especie vegetal.

## Conclusiones

- En las plantas de *Cajanus cajan*, se observó que a mayor concentración de AMX (20 mg/L), hubo una disminución de aproximadamente un 11.0% en la media de crecimiento (29 cm). En comparación, a la menor concentración de AMX (1 mg/L), las plantas mostraron una mayor tasa de crecimiento, además durante la dosificación se observó un deterioro en sus hojas.
- En las plantas de *C. annuum*, se observó que a mayor concentración del medicamento (20 mg/L), presento una disminución de aproximadamente 0.6% en la media de crecimiento (9.87 cm), similar al control, indicando posibles efectos adversos a concentraciones más altas. El estado de sus hojas

durante el periodo de dosificación no mostró cambios.

- La dosificación de AMX afecta significativamente tanto el pH del suelo como el crecimiento de *Capsicum annum* y *Cajanus cajan*. Concentraciones bajas de AMX (1 mg/L) pueden estimular el crecimiento en ambas plantas, mientras que concentraciones más altas (10 mg/L y 20 mg/L) tienden a reducir el crecimiento, particularmente en *Cajanus cajan*. Estos resultados muestran la necesidad de manejar cuidadosamente la dosificación de antibióticos en la agricultura para minimizar efectos adversos en el crecimiento de las plantas y posibles impactos en la resistencia a antibióticos.

## RECOMENDACIONES

Al realizar a investigación, es esencial considerar ciertos criterios:

- Utilizar equipos de laboratorio como el cromatógrafo líquido-espectrómetro de masas en tándem, para comprobar la absorción de AMX en las plantas.
- Ampliar el tiempo de estudio para determinar si las plantas sufren los efectos adversos de la AMX a largo plazo o si eventualmente se adaptan a su presencia.
- Realizar futuros estudios en diferentes tipos de suelos.

## AGRADECIMIENTOS

Al técnico Pastor Barrios (jefe de áreas verdes) y a su personal por el apoyo brindado en la realización del proyecto.

## CONFLICTO DE INTERESES

- Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

Autor	Aporte
Y.E.C	Conceptualización y esquematización del proyecto. Análisis de datos. Resultados y discusión, monitoreo de datos campo

C.K. B	Análisis, recopilación de información y redacción del documento. Monitoreo de datos de campo
Y.E. G	Diseño de muestreo y metodología, recolección de materiales para la investigación. Monitoreo de datos de campo.
V.M.D	Tema del contaminante emergente. Dirección y revisión del proyecto.

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

## REFERENCIAS

- [1] PubChem, "Amoxicillin," @pubchem, 2023. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Amoxicillin> (accessed Jun. 15, 2023).
- [2] "Lumieres - Repositorio institucional Universidad de América: Degradación de amoxicilina mediante sólidos laminares tipo hidrotalcita," 0.229.99, 2021. <http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/8320> (accessed Aug. 22, 2023).
- [3] "Lumieres - Repositorio institucional Universidad de América: Evaluación de la remoción de amoxicilina mediante el uso de bentonita modificada por la técnica de delaminación," *Uamerica.edu.co*, 2020. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7773> (accessed Aug. 22, 2023).
- [4] Jobany Castro Espinosa and L. Alexandra, "Cualificación y experiencia de los vendedores de droguería para la dispensación de amoxicilina en una comuna de Santiago de Cali, Colombia," *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, vol. 47, no. 1, pp. 53–70, Jan. 2018, doi: <https://doi.org/10.15446/rcciuiifa.v47n1.70658>.
- [5] L. M. Tristán and G. Rivera, "ESTUDIO DE UTILIZACIÓN DE ANTIMICROBIANOS EN LA CAJA DE SEGURO SOCIAL DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ, DURANTE EL PERIODO 2015-2018.," *Centros: Revista Científica Universitaria*, vol. 11, no. 2, pp. 156–175, 2015, Accessed: Aug. 22, 2023. [Online]. Available: <https://uptv.up.ac.pa/index.php/centros/article/view/3088>
- [6] M. Verma and A. K. Haritash, "Degradation of amoxicillin by Fenton and Fenton-integrated hybrid oxidation processes," *Journal of environmental chemical engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 102886–102886, Feb. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.102886>
- [7] "Resolución N° 352 - Reglamento técnico DGNTI-COPANIT 47-2000 sobre usos y disposición final de lodos. | UNEP Law and

- Environment Assistance Platform,” *Unep.org*, Jul. 26, 2000. <https://leap.unep.org/countries/pa/national-legislation/resolucion-no-352-reglamento-tecnico-dgnti-copanit-47-2000-sobre> (accessed Aug. 18, 2023).
- [8] N. Montes, “Eliminación de contaminantes (antibióticos) en sistemas de tratamiento de aguas residuales,” *Dialnet*, 2019, doi: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?info=link&codigo=66772&orden=0>
- [9] R. Cela-Dablanca et al., “Relevance of sorption in bio-reduction of amoxicillin taking place in forest and crop soils,” *Environmental Research*, vol. 208, pp. 112753–112753, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112753>
- [10] D. Azanu, C. Mortey, G. Darko, Johan Juhl Weisser, Bjarne Styrisshave, and R. C. Abaidoo, “Uptake of antibiotics from irrigation water by plants,” *Chemosphere*, vol. 157, pp. 107–114, Aug. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.05.035>
- [11] I. Alonso Marques, “Estudio de las resistencias a antibióticos carbapenémicos en muestras y aislados de vegetales procedentes de cultivo ecológico,” *riunet.upv.es*, Oct. 21, 2022. <https://riunet.upv.es/handle/10251/188496> (accessed Apr. 26, 2023).
- [12] “La resistencia a los antibióticos supone un riesgo cada vez mayor para las personas, los animales y el medio ambiente,” *Noticias ONU*, Apr. 29, 2021. <https://news.un.org/es/story/2021/04/1491502> (accessed Apr. 25, 2023).
- [13] J. Luis and L. Rodrigo, “Respuesta agronómica de frejol de palo (*Cajanus cajan* L.) con abonos orgánicos,” *Utc.edu.ec*, 2022, doi: <https://doi.org/PIM-000469>.
- [14] R. Evelyn, “Comportamiento agronómico del cultivo de pimiento *Capsicum annuum* L. con el uso de diferentes tipos de compost, en el Centro de Apoyo Río Verde, Santa Elena,” *Upse.edu.ec*, 2022, doi: <https://doi.org/UPSE-TIA-2022-0066>.
- [15] J. Jose, “Evaluación agromorfológica y el manejo de pesticidas en el cultivo de ají paprika (*Capsicum annuum* L) irrigacion san camilo la Joya – Arequipa,” *Unh.edu.pe*, Dec. 21, 2021. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/6a5829ca-3d40-426c-9995-dd6321d4d661> (accessed Nov. 13, 2023).
- [16] “Descripción: Prospección de virus asociados al cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en Panamá,” *Csuca.org*, 2015. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UP.222974/Description#tabnav> (accessed May 27, 2023).
- [17] Maria, Marián Giono, and J. M. González, “Estudio de la producción de guandú y su efecto en la elaboración de enlatados en el corregimiento de Penonomé,” *Guacamaya*, vol. 4, no. 2, pp. 79–94, 2020, Accessed: May 27, 2023. [Online]. Available: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/212/2121028008/html/>
- [18] L. Dirección, “Ministerio De Desarrollo Agropecuario Dirección De Agricultura Unidad De Planificación Introducción.” Accessed: Aug. 17, 2023. [Online]. Available: <https://mida.gob.pa/wpcontent/uploads/2021/08/CierreAgricola2019-2020.pdf>
- [19] “Vista de zonificación de suelos de Panamá en base a niveles de nutrientes,” *Revistacienciaagropecuaria.ac.pa*, 2023. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/184/142> (accessed Aug. 18, 2023).
- [20] K. Barrios, Cruz, Daniel Armando Suárez, and Vicelda Domínguez, “Efectos dosis respuesta del ácido acetilsalicílico con cafeína en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) mediante metodología casera,” *Revista de iniciación científica*, vol. 7, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v7.0.3251>.
- [21] Organización de las Naciones Unidas, “Objetivos de Desarrollo Sostenible”, 25 septiembre 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>.
- [22] Q. Xu and M. Zhang, “Effects of combined pollution of tetracycline and sulfamethazine on tomato growth and antibiotic absorption,” Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2128513/v1>.
- [23] I. Maldonado, J. Miranda-Mamani, Y. M. Mamani Arpasi, I. Maldonado, J. Miranda-Mamani, and Y. M. Mamani Arpasi, “Efectos de antibióticos en la biomasa, cobertura de área y clorofila de *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides*,” *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 25, no. 4, pp. 233–240, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.18271/ria.2023.532>
- [24] A. Martínez Rico, “El uso de antibióticos en la producción de alimentos y su efecto sobre la salud,” *addi.ehu.es*, Sep. 2023, Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://addi.ehu.es/handle/10810/62405>
- [25] M. E. Estivarez Copa and C. Maldonado Fuentes, “Criterios de selección para cacao nacional Boliviano (*Theobroma cacao* L.), en Alto Beni-Bolivia,” *RIIARn: Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, vol. 6, no. 2, pp. 29–36, 2019, Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9001869>
- [26] Posit Team, “RStudio: Integrated Development Environment for R”, [software], Posit Software, PBC, Boston, MA, 2024. Disponible: <http://www.posit.co/>. Accedido en: 20 jun. 2024