



Volumen 5, Número 2. Abril-Junio 2014

Título del artículo.

Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de *Phaseolus vulgaris*, parte 1: Estudio exploratorio

Título del artículo en idioma Inglés.

Effect of soil contamination due to disposed household batteries on development of *Phaseolus vulgaris*, Part 1: An exploratory study

Autores.

Celso Moisés Bautista-Rodríguez

Ángel Pérez-Zempoaltecatl

Daniel Cruz-González

Referencia bibliográfica:

MLA

Bautista-Rodríguez, Celso Moisés, Ángel Pérez-Zempoaltecatl, y Daniel Cruz-González. "Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de *Phaseolus vulgaris*, parte 1: Estudio exploratorio." *Tlamati* 5.2 (2014): 5-17. Print.

APA

Bautista-Rodríguez, C. M., Pérez-Zempoaltecatl, A. y Cruz-González, D. (2014). Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de *Phaseolus vulgaris*, parte 1: Estudio exploratorio. *Tlamati*, 5(2), 5-17.

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 29 de Junio del 2014.

© 2014 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

TLAMATI, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAG. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de *Phaseolus vulgaris*, parte 1: Estudio exploratorio

Celso Moisés Bautista-Rodríguez ^{1*}
 Ángel Pérez-Zempoaltecatl ²

¹ Alter-Energías Grupo. Tepetitlán No. 63, Col. Lomas del Sur, Puebla, 72470, México. Tel. +52 (55) 50293257.

² Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 14 Sur y San Claudio, Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Cd. Puebla, México

*Autor de correspondencia
 celso.bautista@sener.com.mx

Resumen

Estudios previos han demostrado que las pilas domésticas desechadas presentan algunas características CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-Infeccioso) por lo cual generan contaminación ambiental y riesgos a la salud. Las pilas al estar en contacto con el suelo se corroen en sus carcasas, liberando contaminantes en el suelo, afectando el crecimiento y calidad de las plantas. En este trabajo se reporta un estudio visual y estadístico de los resultados obtenidos a partir de un diseño experimental desarrollado sobre los efectos que tienen los componentes tóxicos de las pilas domésticas "AA" con electrolito ácido (T) y alcalino (D) en cultivos de frijol *Phaseolus vulgaris* (aspecto de la planta y altura de tallos). El diseño experimental consistió en someter las plantas a tres grados de exposición de contaminación por pilas domésticas con tres replicas por exposición. Los resultados ponen en evidencia estadística, las diferencias de altura de tallos en los cultivos al 95% de confiabilidad, principalmente en las muestras contaminadas con pilas alcalinas mientras en las pilas contaminadas con pilas ácidas, los efectos varían desde no significativos hasta devastadores en función del nivel de exposición a la contaminación.

Palabras Clave: Pilas, Cultivos, *Phaseolus vulgaris*

Abstract

Previous studies have shown that discarded batteries have some characteristics which generate environmental pollution and health hazards. At the time that these stacks of discarded batteries stay in contact with soil, a process of corrosion starts, releasing its contaminants within soil and affecting growth and quality of plants. In this study, a visual and statistical analysis from results obtained by an experimental design about effects of toxic components of domestic batteries "AA" with acid electrolyte (T) and alkaline electrolyte (D) developed in harvested beans show that exposure of household batteries affects appearance and stem height of the plant. Experimental design consisted in exposing plants to three degrees of contamination by exposure with discarded domestic batteries with three replicates. Results show statistical evidence related with differences in stem height in crops with 95 % reliability. These differences are showed mainly in samples contaminated with alkaline batteries. Effects on samples contaminated with acid batteries vary from insignificant to devastating depending on the level of exposure to pollution.

Keywords: Cell, Crops, *Phaseolus vulgaris*

Como citar el artículo:

Bautista-Rodríguez, C. M., Pérez-Zempoaltecatl, A. y Cruz-González, D. (2014). Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de *Phaseolus vulgaris*, parte 1: Estudio exploratorio. *Tlamati*, 5(2), 5-17.

Introducción

El desarrollo tecnológico ha generado una gran variedad de dispositivos eléctricos y electrónicos para satisfacer servicios portátiles y estacionarios. En consecuencia, se han desarrollado tecnologías que dependen de sistemas de almacenamiento de energía portátil basados en procesos electroquímicos con capacidad de convertir energía química directamente a energía eléctrica como son las pilas domésticas (Olvera Kádel y Saucedo Solorio, 2009).

Una pila es una unidad electroquímica contenida en carcasa metálica con dos terminales que representan un polo positivo y uno negativo, también conocidos como electrodos (cátodo y ánodo) y el medio de conducción interna llamado electrolito que puede ser de naturaleza ácida o alcalina (Bautista Rodríguez, Campos Pérez, Galicia Pineda, Rivera Márquez, Guevara García, Montiel Corona y Castillo Velázquez, 2007; Castro Díaz y Díaz Arias, M., 2004; Gaytán, Tapia, Bautista Rodríguez, Tapia, Gaytán, Rivera y Torres, 2009; Basurto González, 2006). El funcionamiento de una pila se desarrolla a partir de una reacción de óxido-reducción. Ésta reacción resulta de dos reacciones parciales (semirreacciones), donde un elemento químico se eleva a un estado de valencia superior (oxidación) mientras que otro se reduce a un estado de valencia inferior (reducción). El proceso de óxido-reducción implica la transferencia de electrones del elemento que se oxida al elemento que se reduce. Cada una de las semirreacciones se llevan a cabo de manera independiente en los electrodos de la pila y el medio que posibilita el transporte interno de carga eléctrica entre el cátodo y ánodo es el electrolito (Bautista et al., 2007; Camacho Aguilar, 2006). Cuando la energía de la pila se agota, esta es desechada no sólo en la basura doméstica, frecuentemente se desecha en jardines, suelo, drenaje, etc., todos estos considerados como lugares inapropiados por las características CRETIB de estos dispositivos. Ese acto que pareciera inofensivo representa un serio problema, pues las pilas contienen sustancias de elevada toxicidad. Las pilas, al ser desechadas y estar en contacto con el suelo y la humedad degradan su envoltura primaria, lo que provoca daños consecutivos a la carcasa y por consiguiente la liberación de sus componentes tóxicos al suelo circundante y/o a los cuerpos de agua superficiales o subterráneos por lixiviación (Galicia Pineda, 2007; Prieto Méndez, González Ramírez, Román Gutiérrez, Prieto García, 2009). El problema de las pilas domésticas como residuos es su constitución a base de metales pesados (como Cinc, Plomo, Mercurio, Litio, Cadmio, etc.) necesarios para su funcionamiento (Martin y Griswold, 2009). Por lo tanto, las plantas que se desarrollan en suelos contaminados son capaces de absorber metales. Estos metales pueden ser bioacumulados en las raíces, tallos, frutos y hojas, provocando la inhibición del crecimiento e incluso la muerte de la planta (Monu, Bala, Shweta, Anchal, Barinder y Neeraj, 2008). Debe considerarse que los metales contaminantes se pueden almacenar en cantidades considerables en el tallo aún antes de mostrar efectos visibles (Al-Suburu, Salim, Dou-

leh y Atallah, 1993).

Algunos parámetros del suelo tales como pH (medida de acidez o alcalinidad de una disolución), composición mineral y microorganismos intervienen en el grado final de toxicidad. El pH del suelo influye significativamente en la disponibilidad de los metales para la planta. En el caso de la mayoría de los metales como el cadmio y el plomo, a medida que disminuye el pH (< 7), los metales se separan de los compuestos, se solubilizan en la tierra y tienen mayor movilidad y disponibilidad para la planta. Cuando el pH aumenta (> 7), algunos metales se precipitan formando sales, sin embargo, en el caso de cinc y níquel, cuando el pH es básico o ligeramente alcalino ($7 < \text{pH} < 8$) se favorece la absorción de iones por la planta (Kiatgamjorn, Khanngern y Nitta, 2004).

En las últimas décadas se ha demostrado que la presencia de metales pesados inhibe considerablemente el crecimiento de la planta. Esto está asociado con la deficiencia de cinc, al uso de su energía en mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metales en sus tejidos y además se puede relacionar con un efecto en la fotosíntesis a nivel estructural y metabólico. Los metales pesados pueden ser absorbidos por las plantas dependiendo de su disponibilidad en el suelo y de los mecanismos de selectividad propios de cada especie, variedad o genotipo (Ludas Viñuela, 2008).

Por otra parte, el uso de agua residuales en la agricultura reporta una tendencia creciente en las concentraciones de metales en los suelos, las cantidades de metal que se extraen y se miden en estos suelos se han asociado positivamente con el tiempo de uso de agua residual; mostrando una mayor tasa anual de acumulación de Níquel (Ni) y Plomo (Pb) (Benavides, 2000; Vassilev, Koleva, Berova y Stoeva, 2007).

Un cultivo de interés económico es el *P. vulgaris*, el cual es de gran importancia en la cadena alimentaria en México. Nuestro país se coloca en el quinto lugar de países productores de esta leguminosa (Borja y García, 2008; Norma Mexicana Fabaceas-Frijol 038-SCFI-2002, 2011). En el periodo del año 2000 a 2010, México tuvo un rendimiento promedio inferior al promedio mundial, obteniendo 0.8 toneladas por hectárea de terreno. Así también, nuestro país se ubica en el tercer lugar de países consumidores y también tiene un consumo per cápita de 11 kg. en promedio anual. Cabe mencionar que México exporta en promedio 14, 684 Ton/año, representando sólo un 0.5 % del producto total exportado a nivel mundial, sin embargo, México se coloca en el séptimo lugar de países importadores, es decir, se consume más de lo que se produce (Secretaría de Economía, 2012). La contaminación en el suelo y en consecuencia de cultivos como el frijol, representa también un problema de economía nacional debido a la disminución de las exportaciones por la baja calidad del producto.

A nivel internacional, existen leyes que establecen la gestión de las pilas de desecho y sus niveles máximos de concentración de metales pesados, con la finalidad de reducir al mínimo su peligrosidad y de evitar la eliminación de las pilas, acumuladores y baterías usados en el flujo de

Tabla 1

Código para el Diseño Experimental Aplicado

T1E1	T2E1	T3E1	B1E1	B2E1	B3E1	D1E1	D2E1	D3E1
T1E2	T2E2	T3E2	B1E2	B2E2	B3E2	D1E2	D2E2	D3E2
T1E3	T2E3	T3E3	B1E3	B2E3	B3E3	D1E3	D2E3	D3E3

residuos sólidos urbanos no seleccionados (RIS Internacional, 2007; Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2006; Consejo Nacional de Medio Ambiente, 2008). Las regulaciones internacionales se han enfocado a establecer límites al contenido de metales en las pilas. En México, no existe actualmente una legislación ambiental que determine el uso adecuado de pilas como desecho. En el año 2006 se propuso a nivel federal un proyecto de norma que establece especificaciones para la clasificación e identificación de pilas y baterías para el manejo ambientalmente adecuado de estas, cuando sean desechadas, en donde se indica los límites máximos permisibles para el contenido de mercurio y cadmio (Proyecto de Norma Mexicana AA-104-SCFI, 2006). Este proyecto ha sufrido modificaciones, pero a la fecha continúa en proceso de revisión y aprobación, por lo que es necesaria la aplicación de diversos estudios para poder impulsar el desarrollo de ese proyecto para convertirse en una ley semejante a la europea y/o brasileña (Bautista et al. 2009; Gaytán et al., 2009; Marolia, 2007). Por otra parte, México requiere también una normatividad para regular la concentración de metales pesados en las leguminosas (alimentos en general) de importación, con el propósito de reducir impactos en salud pública.

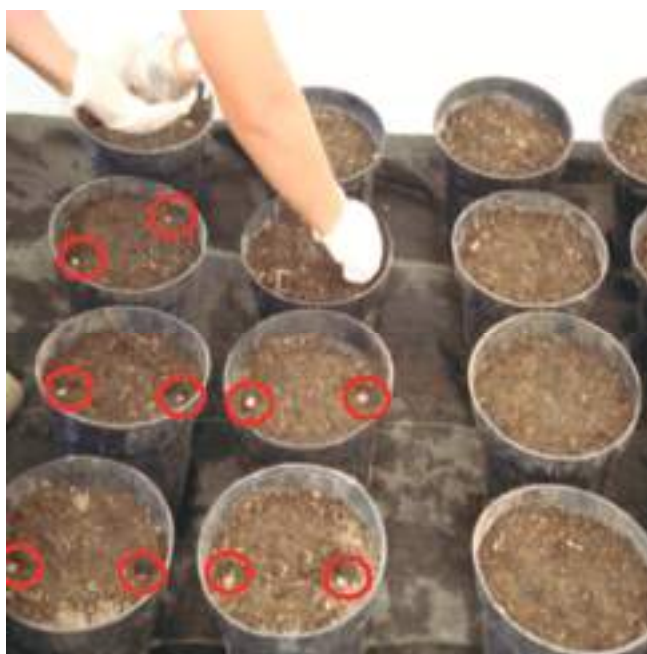


Figura 1. Siembra de pilas desechadas con carcasa cerrada

El presente trabajo reporta los resultados estadísticos obtenidos a partir de un diseño experimental 2^3 (Montgomery y Runger, 1996), aplicando inferencia estadística para identificar diferencias significativas al 95% de confiabilidad entre las muestras testigo versus las muestras con pilas ácidas o alcalinas a 3 niveles de exposición a la contaminación. Se presentan simultáneamente a los resultados, imágenes comparativas con el propósito de verificar cualitativamente los resultados estadísticos. Es importante mencionar la carencia de estudios de esta naturaleza en la bibliografía, encontrando solo disponible estudios sobre el efecto de aguas de riego contaminadas con metales pesados de carácter industrial sobre cultivos de interés económico. Por lo cual, los autores proponen el presente estudio con alcances exploratorios en su primera etapa.

Metodología

El desarrollo experimental se realizó en un invernadero ubicado dentro del jardín botánico de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), se inició con la delimitación del terreno y la preparación de la tierra, se combinó tierra de hojas con suelo que se encontraba en el jardín botánico en una proporción 1:1; posteriormente se llevó a cabo el llenado de las macetas y la siembra de las semillas donde se utilizó la misma cantidad y calidad de agua como riego (Vidales Olivo, A., 2000) y suelo para cada una. Se realizó el Diseño Experimental 2^3 , ($DE2^3$) para el cual fueron considerados los siguientes factores: pH de la pila desechada y nivel de exposición; mientras que para cada factor se consideraron tres niveles: 1) Ácido, 2) Alcalino y 3) Control o Blanco para el factor pH; mientras que para el nivel de exposición se determinaron niveles como: 1) Pilas cerradas, 2) Pilas abiertas parcialmente y 3) Pilas despedazadas. EL $DE2^3$, comprende tres repeticiones para cada muestra (véase tabla 1). Los cultivos Testigo o Control fueron codificados con la letra B, las muestras ácidas utilizaron la letra T y las alcalinas la letra D, todas seguidas de un número que indica la secuencia de réplica, indicando la letra E el nivel de exposición en el que se encuentran. Así por ejemplo, el código T2E3 corresponde a la segunda repetición para la muestra ácida en el tercer nivel de exposición. El Diseño Experimental aplicado se representa codificado en la tabla 1.

Las pilas de desecho que se utilizaron como contaminantes (dos pilas por maceta), se sembraron en los cultivos en tres formas distintas y representan el grado de exposición: Exposición 1: Pila completa con carcasa cerrada (véase figura 1). Exposición 2: Pila completa con carcasa abierta en mal estado físico (véase figura 2a). Exposición



Figura 2. Siembra de pilas. a) Exposición 2 de pila ácida y b) exposición 3 de pila alcalina

3: Pila despedazada y dispersada (véase figura 2b).

Los cultivos se regaron cada tres días utilizando agua de mesa marca Junghans (150 ml en las 4 primeras semanas y 300 ml hasta el final del experimento) catalogada como de excelente calidad (Vidales, 2000), al no encontrar microorganismos (coliformes, microorganismos mesofílicos y estreptococos) presentes en el agua y por su bajo contenido de sales. Dichas características son benéficas en el estudio para evitar una posible interferencia en los resultados de la experimentación; de la misma forma se tomaron medidas de las dimensiones de cada cultivo tomando en cuenta los siguientes aspectos: largo del tallo, largo y ancho de las hojas, así como el análisis del aspecto de las plantas de acuerdo al grado de exposición en función del tiempo. Todas las mediciones iniciaron alrededor de las 10

AM para evitar alteraciones importantes debido al estado de los cultivos a lo largo del día.

Los métodos y técnicas estadísticas para el estudio fueron: inferencia estadística y la prueba de hipótesis (Montgomery y Runger, 1996) a un nivel de significancia del 95% (Spiegel y Stephens, 2002).

Resultados

Se registra de forma general el crecimiento de los tallos de todas las muestras en estudio durante los primeros 38 días del experimento (véase figura 3). El tiempo experimental total fue superior a los 60 días, sin embargo, por razones higiénicas locales en el campus, el registro de mediciones solo fue confiable para todas las muestras hasta el

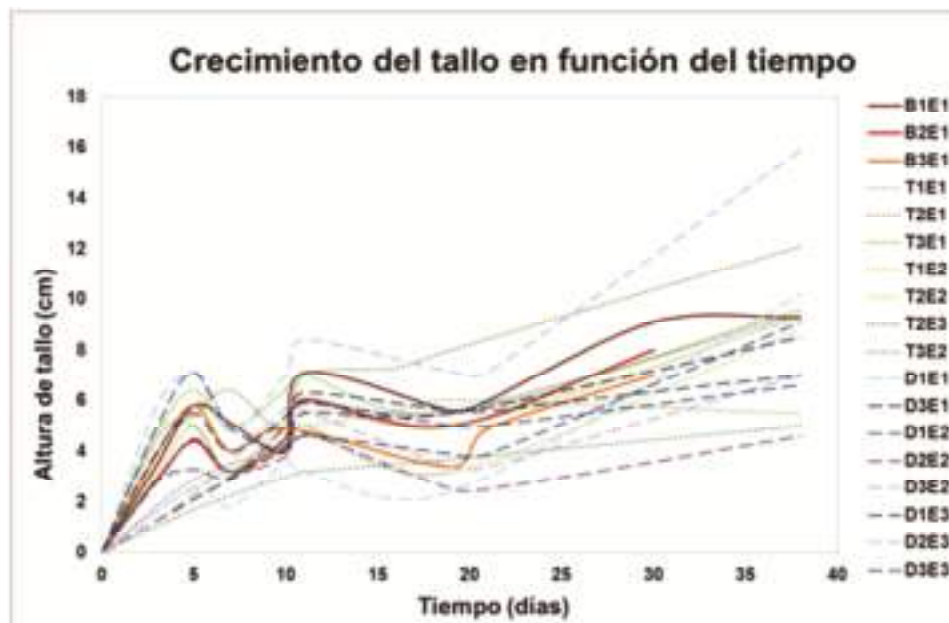


Figura 3. Longitud del tallo en función del tiempo para todas las muestras del DE2³

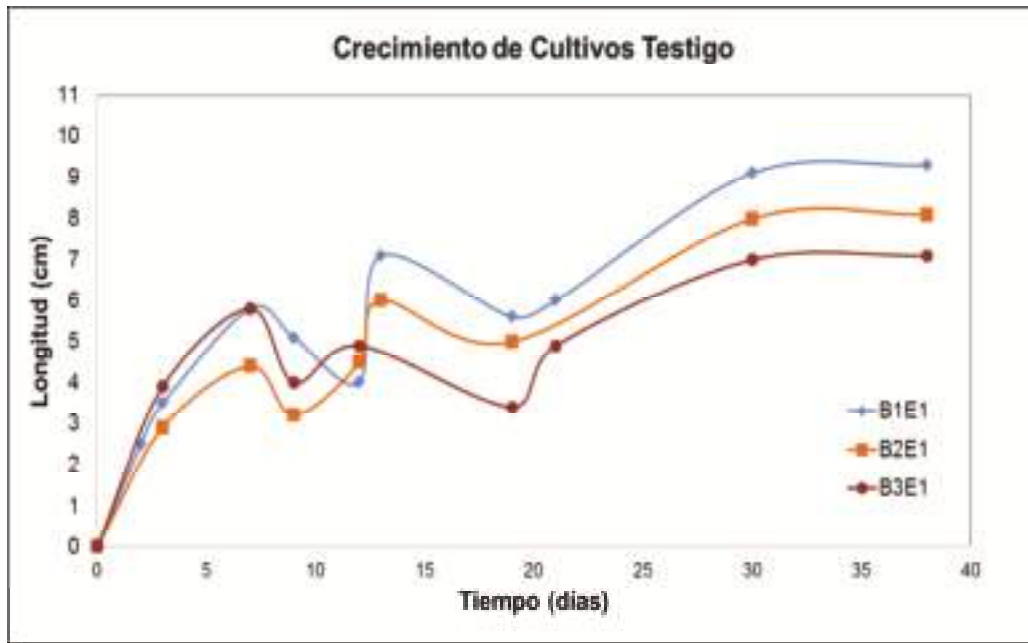


Figura 4. Comportamiento de crecimiento en testigos

día 38. La grafica muestra una variabilidad notable entre las alturas de los tallos de los cultivos por efecto probable de los tratamientos del experimento. Las curvas muestran en general 3 cambios de pendientes significativos y atribuibles a diferentes etapas en el desarrollo de los cultivos, siendo característicos del tipo de cultivo y su genoma. La disminución en altura observada en los días 7 y 21 se atribuyen a una caída natural de las puntas de los cultivos. Estos eventos parecen limitar cambios en el ciclo de vida de los cultivos, manifestándose también en un cambio en la pendiente de las curvas de crecimiento.

El propósito de un estudio detallado ha requerido la agrupación de mediciones clasificadas en 3 periodos cronológicos consecutivos y delimitados por el cambio de pendiente en las curvas de crecimiento. El primer periodo corresponde a los datos entre los días 1 al 10 donde se observa un crecimiento acelerado. El segundo periodo del día

10 al 21 muestra una reducción significativa o nula en su índice de crecimiento, atribuible a la preparación del cultivo a la reproducción, siendo en este periodo donde aparecieron las primeras vainas de producto. El tercer periodo del día 3 al día 38 presenta un crecimiento menor al primer periodo con el visible incremento y desarrollo de las vainas de fruto, siendo la reproducción la causa más probable de la reducción el crecimiento del cultivo. En estas etapas de crecimiento se puede observar cambios en la tendencia de las curvas mostradas en la figura 3, la cual corresponde a las plantas testigo. Es importante tomar en cuenta estos cambios, debido a que la pendiente de la recta se puede interpretar como la velocidad o índice de crecimiento (IC) de la planta; de esta manera es posible determinar y discutir resultados concretos. En el día 7 se aprecia una caída significativa en la altura del tallo de las plantas. Esto se debe a la caída natural de la punta del cultivo, repitiéndose esta observación en los días 19 y 38, coincidiendo con los límites de los periodos propuestos.

El uso de cultivos testigo (véase figura 4) permite la comparación con los cultivos expuestos a contaminación por pilas; se realizaron tres repeticiones o replicas y se observó que uno de los cultivos se comportaba diferente, este comportamiento no es singular, mostrándose repetitivo en todos los casos de estudio; bajo esta observación se conformó el grupo 1 (G1) con los dos cultivos de comportamiento similar y el grupo 2 (G2) con el tercer cultivo de comportamiento diferente. El diagrama de caja muestra la comparación entre los IC de los cultivos testigo (véase figura 5). Así se demostró estadísticamente la diferencia en el IC entre el G1, observando significativamente una mayor velocidad en el crecimiento de los tallos en comparación con el G2. El valor P de 0.003, resultado de la comparación de grupos (inferencia estadística) indica que las

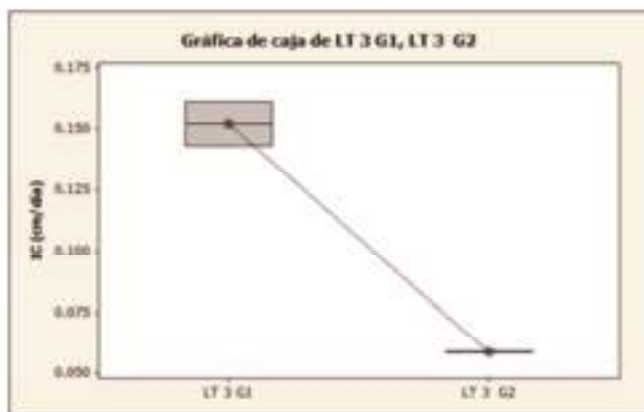


Figura 5. Comparación de IC entre G1 y G2

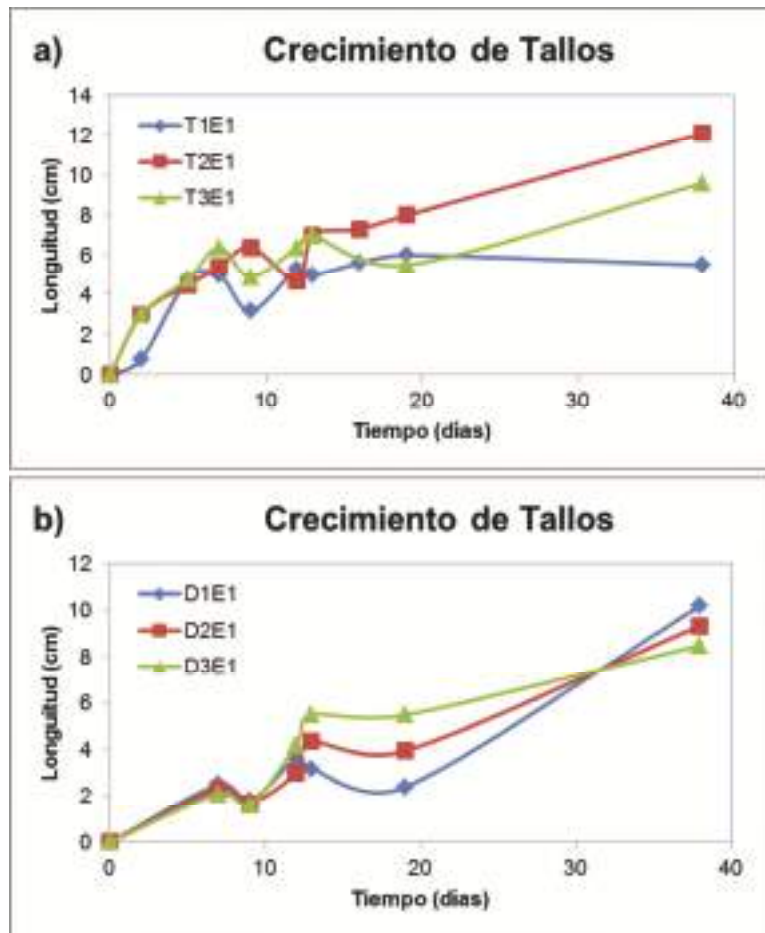


Figura 6. Crecimiento del tallo en función del tiempo de: a) Cultivos contaminados por pilas T y b) Cultivos contaminados por pilas D. Cada una con sus respectivas replicas

medias entre estos valores IC son diferentes. Esta diferencia de comportamientos en el crecimiento de los cultivos de frijol no es singular en la naturaleza. En los seres humanos, por ejemplo, tanto la altura, el tiempo y forma de crecimiento varía entre las personas de acuerdo a diversos factores como la raza o el género. Por ejemplo, las mujeres tienden a crecer por etapas, una etapa de crecimiento y una etapa de estabilidad alternadas; los hombres tienen un crecimiento lento pero constante. El aumento de peso y talla también es diferente entre niños y niñas, las niñas crecen más rápido pero los niños alcanzan mayor peso y talla (Valenzuela, Luengas y Marquet, 1993). Igual que los humanos, las plantas son seres vivos y su proceso de desarrollo es distinto de acuerdo a características propias de la semilla como la madurez, el equilibrio hormonal, la capacidad de germinar y la sexualidad de la semilla (Universidad Politécnica de Valencia [UPV], 2011; Universidad Autónoma de Madrid [UAM], 2011; Genomasur, 2011).

Exposición 1

En esta exposición, los metales pesados se almacenan

en el interior de las pilas cerradas. Se muestran cultivos de frijol expuestos a pilas T y D respectivamente en condiciones de carcasa completamente cerrada (véanse figuras 6a y 6b). Nótese que el tamaño de los tallos de los cultivos contaminados por pilas (T o D) presentan una altura promedio superior al cultivo testigo al final del experimento.

Las curvas de crecimiento (véase figura 6a) no muestran aparentemente, diferencias significativas con las muestras testigo (véase figura 4), en sus dos primeros periodos de estudio. Solo el tercer periodo observa como diferencia un crecimiento mayor en comparación con el mismo periodo (véase figura 4). Adicionalmente, se observa un crecimiento lento en las muestras (véase figura 6b) durante el primer periodo de estudio, sin embargo, en el tercer periodo experimental se observa un incremento en el IC importante de tal forma que al día 38, el crecimiento total es superior a las muestras testigo (véase figura 4).

Las pilas que se utilizaron en este trabajo, a pesar de que son de desecho, son capaces de producir energía y de acuerdo con la posición en que fueron ubicadas es posible la formación de un sistema electroquímico complejo, sobre todo si se considera que se encuentran circundados por

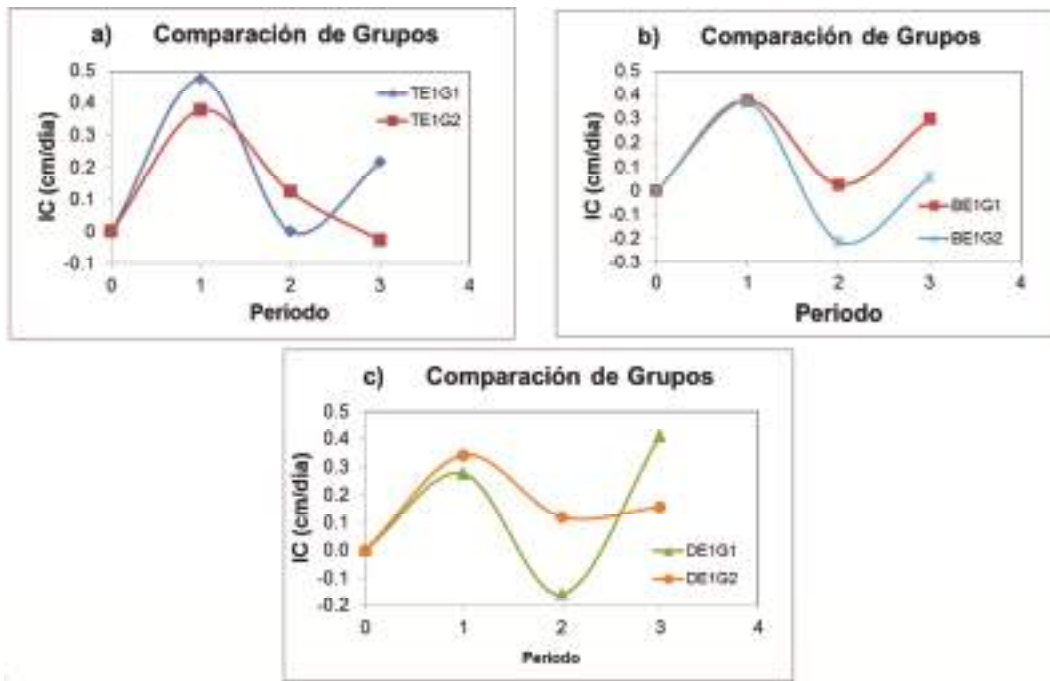


Figura 7. Comparación de IC por grupos: a) T, b) Testigo y c) D

tierra inundada bajo riego constante. Este campo electroquímico generaría una movilidad de iones capaz de afectar la absorción natural de micronutrientes metálicos por las raíces de los cultivos. Por consiguiente, la diferencia entre las curvas de crecimiento (véase figura 6) se puede atribuir a la naturaleza y el voltaje de las pilas D (alcalina con carcasa metálica) y T (ácida con carcasa de cartón). Kiatgamjorn et al (2004) demostraron que los cultivos de soya presentaban diferente desarrollo al estar sometidos durante cinco días a campos eléctricos con una intensidad de 10 y 25 kV/m, observándose un mayor desarrollo a la

mayor intensidad (Clijsters y Van Assche, 1985; Kiatgamjorn et al., 2004).

Se presenta una comparación de los IC (cm/día) para las muestras del nivel de exposición 1 y puede observarse una diferencia de comportamiento entre grupos (G1 y G2), así como la diferencia entre el efecto de pilas ácidas y alcalinas respectivamente (a y c vs b) (véase figura 7). En la contaminación ácida (véase figura 10a), el grupo 2 (curva azul) muestra cambios significativos en su IC para los 3 periodos (véase figura 9a), mientras que en la contaminación alcalina (véase figura 10c), se observa un efecto inverso en el IC de los grupos. Esto es; en G1 se incrementa significativamente mientras en G2 se reduce el IC e los cultivos. Por otra parte, se muestran los valores P del estudio comparativo de grupos por inferencia estadística para este nivel de exposición a la contaminación, teniendo como referencia los valores testigo, donde solo el valor P del G1 vs B1, indica que al 95% de confiabilidad que el IC de la muestra TE1G1 no es diferente con la muestra testigo (véase tabla 2). En todos los demás casos, existe diferencia significativa y atribuible a la diferencia de tratamientos a este nivel de exposición a la contaminación de suelo con pilas ácidas o alcalinas.

De izquierda a derecha se muestra una imagen comparativa de los cultivos: pila ácida, testigo y pila alcalina (véase figura 8). Las características de las hojas en la muestra testigo son abundantes con mejor aspecto y de mayor volumen, esto confunde la diferencia en la longitud de altura en los tallos al compararlas. Las curvas de crecimiento muestran a la muestra con pilas ácidas (véase figu-

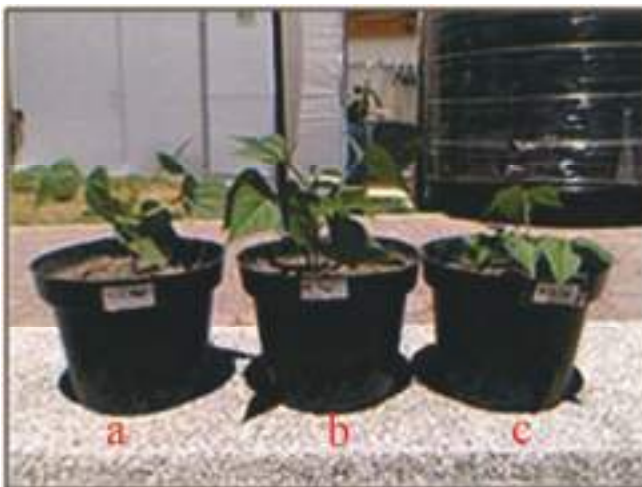


Figura 8. Imagen de la Exposición 1 correspondiente al día 39

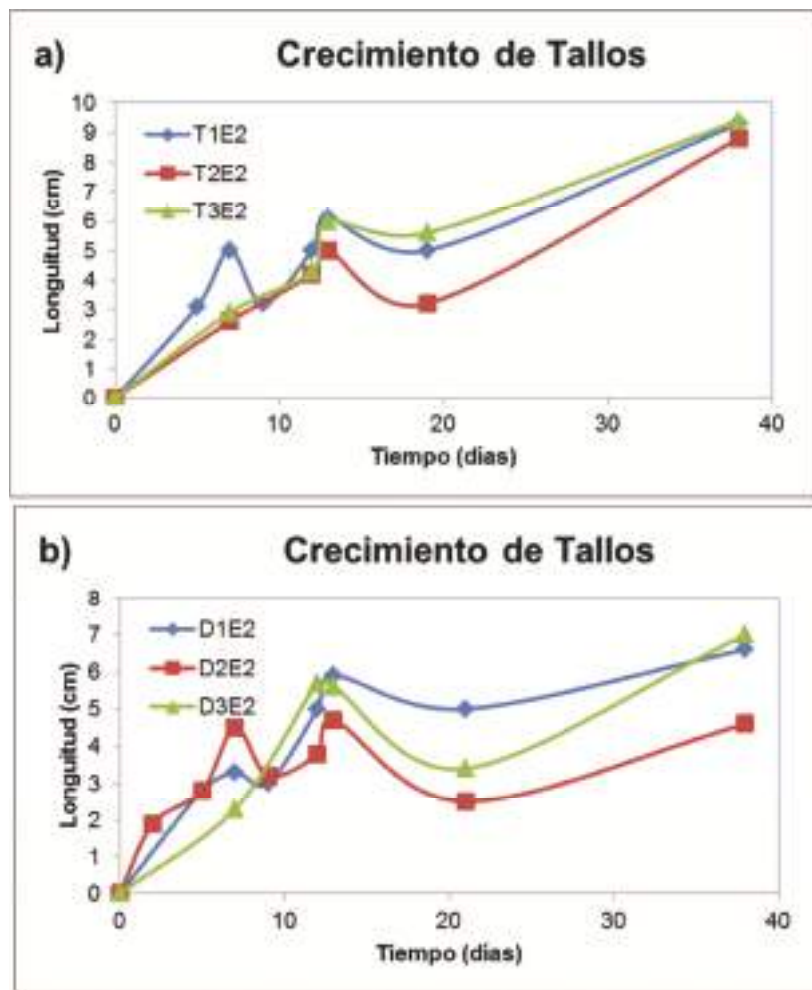


Figura 9. Crecimiento del tallo en función del tiempo de: a) Cultivos contaminados por pilas T y b) Cultivos contaminados por pilas D. Cada una con sus respectivas replicas

ra 8a) como el cultivo con mayor altura de tallo. Por volumen, la muestra testigo (véase figura 8b) muestra mejor aspecto en general.

Exposición 2

Se muestra el crecimiento de tallos en cultivos de frijol expuestos a pilas T y D respectivamente en condiciones de carcasa parcialmente abierta (corte longitudinal). Note que el tamaño de los tallos (al día 38) de los cultivos contaminados por pilas acidas presentan una altura promedio superior

Tabla 2

Inferencia Estadística Comparativa entre IC para tratamientos del DE2³ por Grupos de la E1

Fuente	Valor P		
	Primer periodo	Segundo periodo	Tercer periodo
pH	0.916	0.061	0.02
Exposición	0.441	0.092	0.307
Interacción	0	0.374	0.094

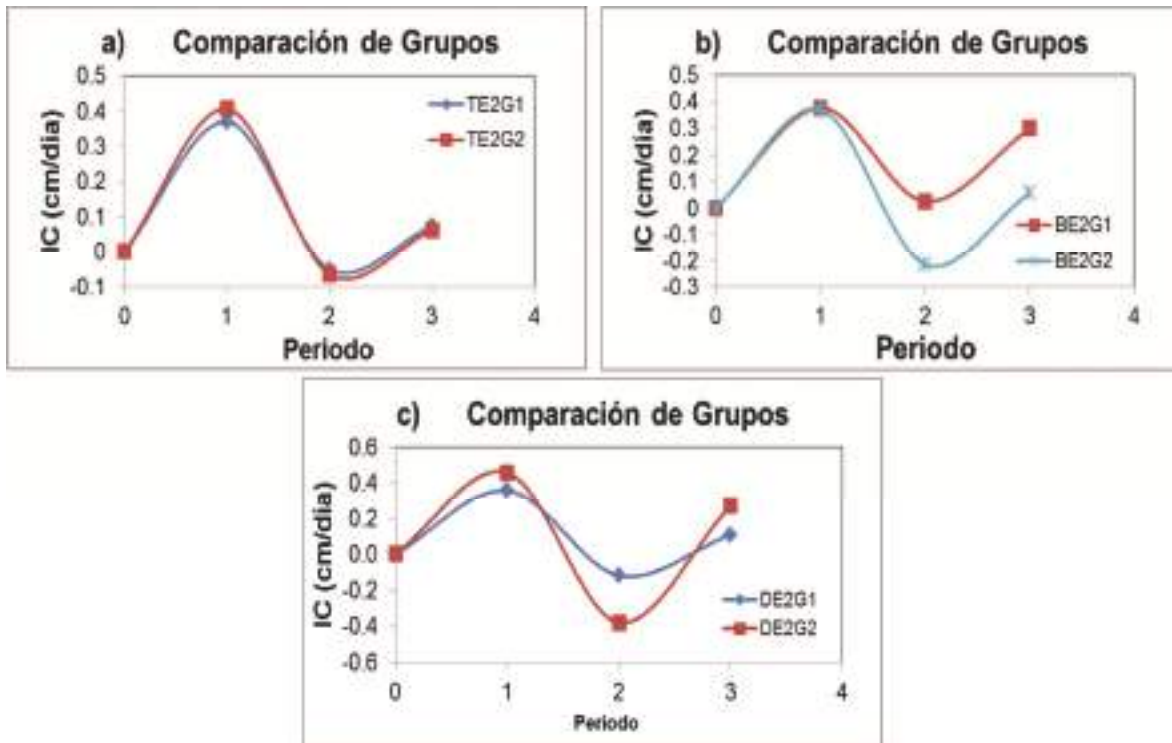


Figura 10. Comparación de IC por grupos: a) T, b) Testigo y c) D

al cultivo testigo. Por el contrario, en las muestras con pilas alcalinas, la altura de tallo es sensiblemente menor en comparación con las muestras control (véase figura 9). Por otra parte, las muestras contaminadas con pilas T observan un crecimiento casi lineal en comparación con los testigos (véase figura 6), mientras que la contaminación alcalina presenta comportamientos de crecimiento en tallos similares a el control en sus dos primeros periodos. En el tercero de ellos, el crecimiento de los tallos se nota sensiblemente disminuido en comparación con el control. En ambas figuras, las curvas en color rojo manifiestan comportamientos diferentes, marcando la diferencia de grupos.

En este caso, el efecto de la contaminación por metales pesados se debe a que la pila se encuentra abierta (sin carcasa), así como a la solubilidad de los metales pesados en la tierra y su absorción por los cultivos a través de sus raíces. Por otra parte, la naturaleza ácida o alcalina de las pilas afecta el pH natural del suelo implicando efectos im-

portantes en el crecimiento y desarrollo de los cultivos de frijol. Es importante señalar que algunos iones de metales pesados como el Fe, Cu, Mn y Zn no pueden ser absorbidos directamente por las plantas. La forma en que ingresan a estas es por medio de quelatos (sustancias que forman complejos con iones de metales pesados). La formación de quelatos usualmente se lleva a cabo en un pH entre 6 y 9; bajo estas condiciones la solubilidad de algunos iones metálicos aumenta o disminuye en función del pH final (Benavides, 2000). En los últimos días del periodo 2, se observa que el crecimiento de la planta es mayor para los cultivos contaminados con pilas alcalinas, este comportamiento se puede describir como sigue:

Robinson, Procter, Connolly y Guerinet, (1999), aislaron un gen llamado FRO2 que se expresa en raíces de *Arabidopsis Thaliana* en condiciones de deficiencia de Fe. Dicho gen FRO2 parece corresponder a una reductasa de Fe-quelato, y de acuerdo a los autores el aislamiento de FRO2 tiene implicaciones para la generación de cultivos con mayor cantidad nutricional y mejor crecimiento en suelos con bajo nivel de Fe disponible (Benavides, 2000; Robinson et al, 1999). Bajo este escenario, suponemos que en este medio alcalino, los iones de metales como el hierro, han desarrollado cierto tipo de genes o agentes quelantes que benefician la velocidad del crecimiento del tallo.

Como la pila está completa pero a carcasa abierta, es posible que la difusión de sus componentes activos sea moderada. En el caso de los cultivos expuestos a pilas T es probable que el pH del suelo sea ácido por lo cual la formación de quelatos es menor y como consecuencia la solu-

Tabla 3

Inferencia Estadística Comparativa entre IC para tratamientos del DE2³ por Grupos de la E2.

Periodo	Valor P			
	Grupo 1		Grupo 2	
	T	D	T	D
1	0.411	0.603	0.000	0.000
2	0.483	0.097	0.000	0.000
3	0.002	0.002	0.000	0.000

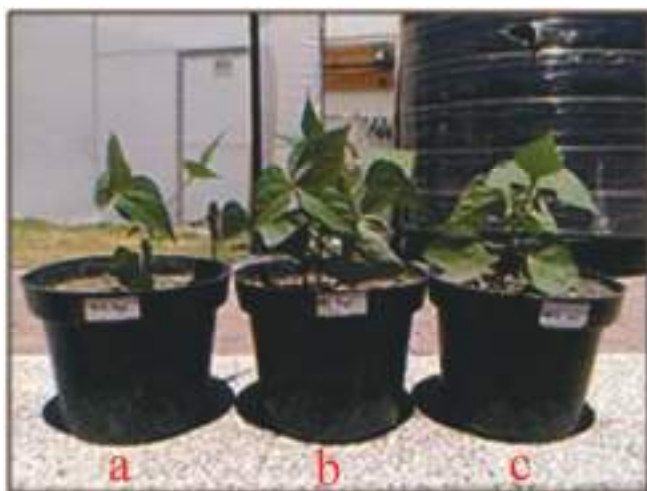


Figura 11. Imagen de la Exposición 2 correspondiente al

bilidad y transporte de los iones metálicos al interior de la planta es poca; sin embargo, para los cultivos expuestos a pilas D es probable que el pH del suelo oscile entre 6 y 9 (note que la pila es alcalina y tiene componentes activos como Zn y Mn), bajo estas condiciones, la formación de quelatos es ideal ya que estos transportarán iones metálicos -en gran cantidad- al interior de la planta, afectando de manera importante el crecimiento de la misma durante los 2 primeros periodos del estudio. Sin embargo, es probable que durante el tercer periodo, el constante riego desplaze la alcalinidad y con ello la estimulación a la formación de quelatos y la concentración de metales en el suelo, lo que podría explicar la diferencia en la altura de los tallos con respecto al control.

Se presenta una comparación de los IC para las muestras del nivel de exposición 2, donde la exposición a pilas ácidas no presenta diferencias en los IC de ambos grupos (véase figura 9a), sin embargo, tomando como referencias las muestras no contaminadas, se podría considerar una alteración probable en las muestras expuestas a pH menores en al menos uno de sus grupos (véase figura 9b). En el caso de la contaminación con pilas alcalinas, la diferencia de grupos y el efecto de contaminación a un pH mayor a

Tabla 4

Inferencia Estadística Comparativa entre IC para tratamientos del DE2³ por Grupos de la E3.

Periodo	Valor P			
	Grupo 1		Grupo 2	
	T	D	T	D
1	N/D	0.109	N/D	0.000
2	N/D	0.177	N/D	0.000
3	N/D	0.627	N/D	0.000

las muestras testigo es notable, principalmente durante el tercer periodo en el estudio realizado (véase figura 9c).

Los valores P indican diferencia significativa al 95% de confiabilidad sobre la altura del tallos de los cultivos de Frijol entre las muestras del G2 *versus* las muestras testigo del mismo grupo, mientras para el G1 la diferencia se manifiesta de manera progresiva, siendo efectiva en ambas muestras hasta el 3er periodo experimental (véase tabla 3). Por otra parte, se aprecia al día 39 del experimento, una diferencia notable en la volumetría de la muestra con pilas T (véase figura 11a) y la muestra testigo (véase figura 11b), mientras esta diferencia puede no ser apreciada entre la testigo y la muestra con pilas D (véanse figuras 11b y 11c).

Exposición 3

Se muestra el crecimiento de tallos en cultivos de frijol expuestos a pilas T y D, respectivamente en condiciones de pila despedazada y dispersada, en donde solo una de las tres muestras contaminadas con pilas ácidas sobrevivió (véase figura 12a). Probablemente el bajo pH alcanzado en el medio, dañó de forma significativa las raíces de los cultivos y la concentración de metales pesados desarrolló una toxicología capaz de llevar a la muerte a los cultivos.

La curva muestra la eliminación del segundo proceso en el ciclo de vida de la planta; aparentemente en el periodo de reproducción se fusiona el primero de crecimiento con el tercero de desarrollo (véase figura 12b). Por el contrario, las muestras contaminadas con pilas alcalinas muestran un desarrollo superior en la altura de sus tallos en comparación con las muestras testigo al día 38 del experimento y es particularmente notable durante los dos primeros periodos, sin embargo, el tercer periodo contrasta con una reducción en su crecimiento en dos de las muestras mientras en la tercera (curva roja) se desarrolla en IC prominente.

El IC en la planta de frijol sobreviviente de las muestras contaminadas con pilas T muestra un decremento prominente durante todo el periodo experimental, así el alto nivel de toxicidad al cual fueron sometidas las muestras es evidente (véase figura 12a). Contrariamente, el IC en las muestras contaminadas con pilas D se observan favorecidas durante los dos primeros periodos de estudio y particularmente en el G1, sin embargo, durante el tercer periodo existe nuevamente un contraste entre G1 y G2; el primero se reduce mientras en segundo se ve estimulado de forma prominente.

Se observa como las pilas T causan problemas en el crecimiento del tallo de la planta de frijol (cultivo de menor tamaño), en esta exposición las pilas se encuentran despedazadas y es muy probable que exista una mayor concentración disponible de metales pesados y efectos importantes en el pH del suelo (véase figura 13). El efecto en los cultivos contaminados por pilas ácidas es devastador debido muy probablemente a la absorción de metales pesados; con un pH ácido los metales no requieren de mecanismos complejos como la quelación y pueden ingresar a la planta como iones o formando sales. Debido a que la

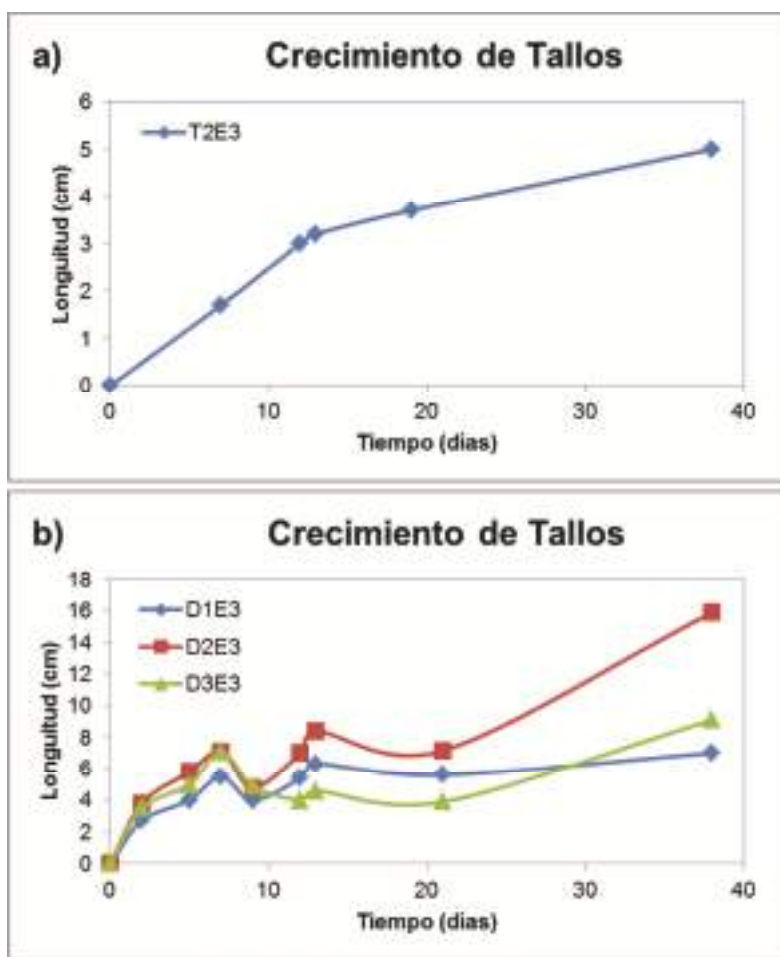


Figura 12. Crecimiento del tallo en función del tiempo de: a) Cultivos contaminados por pilas T y b) Cultivos contaminados por pilas D. Cada una con sus respectivas replicas

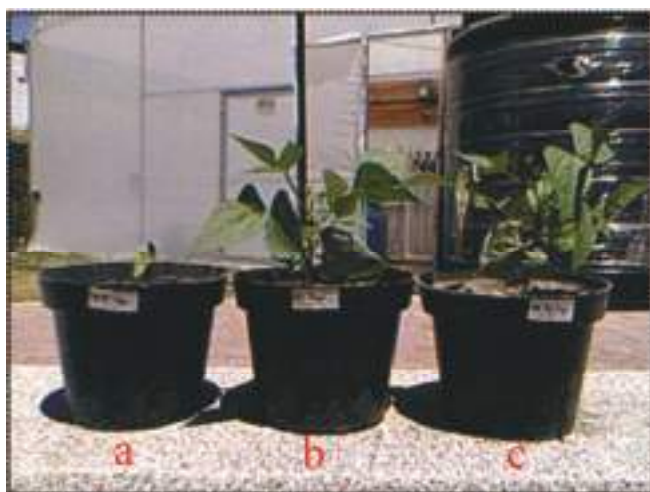


Figura 14. Imagen de la Exposición 3 correspondiente al día 39

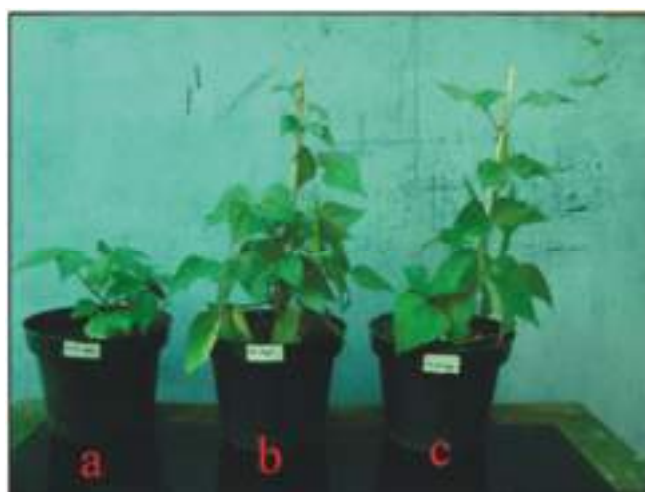


Figura 15. Imagen de la Exposición 3 al 65º día experimental

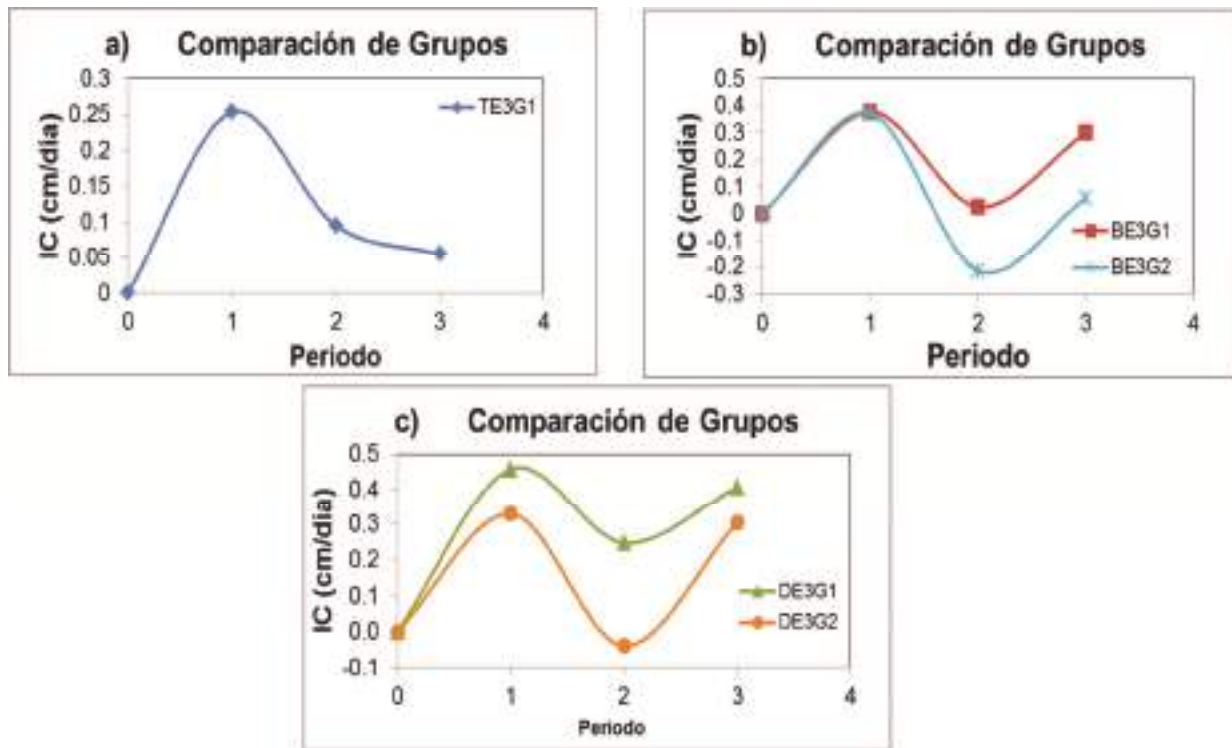


Figura 13. Comparación de IC por grupos: a) T, b) Testigo y c) D

pila está completamente despedazada, existe mayor disposición de estos iones metálicos provocando efectos más drásticos en la planta (poca biomasa, germinación anormal, e inhibición en su crecimiento por el uso de su energía en la adaptación a suelos contaminados). Existen otros factores que influyen en la absorción y acumulación de metales tóxicos, como por ejemplo: la naturaleza del metal, microorganismos de suelo, la competencia de los metales en su absorción y la misma genética de la semilla. Es posible que los metales pesados alteren los procesos metabólicos de la planta desencadenando la inhibición de crecimiento, envejecimiento y muerte de las hojas o la planta. Además, las pilas T son parte del mercado informal y podría contener metales como el mercurio y cadmio, de ser así, el mercurio posiblemente estaría causando problemas en la germinación de la planta. El hecho de que el tercer periodo haya sido la etapa en la cual se dieron los frutos de las plantas también puede intervenir en el estudio. Probablemente, las hormonas presentes en el cultivo, se centren en la producción de vainas y su respuesta sea la de producir energía para la reproducción y el crecimiento se vea afectado por la absorción de metales (Romero, 2011; Curtis y Barnes, 2008). Por otra parte, las pilas D generan un efecto opuesto en la planta, ya que sus tallos alcanzaron longitudes mayores a lo normal, considerando normal el crecimiento del cultivo testigo. Es posible que este hecho se deba al pH ligeramente alcalino del suelo y con el hecho de que la planta se centra en el desarrollo del fruto, se encuentre vulnerable a posibles cambios generados por las pilas. En este caso, el Zinc es fácilmente absorbido por la planta y éste

contribuye al desarrollo de la misma. En lo que respecta al IC, los valores de P menores a 0.05 confirman que este parámetro fue afectado en los cultivos contaminados.

Los valores P (véase tabla 4) indican diferencia significativa al 95% de confiabilidad sobre la altura del tallos de los cultivos de frijol entre las muestras con pilas D del G2 *versus* las muestras testigo del mismo grupo, mientras que para las muestras con pilas D del G1, la diferencia no es significativa en ninguno de sus casos. La inferencia estadística de grupos no fue posible para las muestras contaminadas con pilas T por la razón que solo una muestra sobrevivió al efecto devastador de la contaminación. Dicho efecto puede observarse en la imagen del cultivo a la izquierda (véase figura 14), mientras una comparación de los cultivos al centro y derecha favorecen en altura y volumetría a la muestra con pilas D.

Finalmente, se observa una altura superior en la muestra de cultivo de frijol contaminada con pilas alcalinas (véase figura 15c) en el 65° día experimental en comparación con el testigo (véase figura 15b). Adicionalmente es notable una anchura mayor en las hojas y aparentemente la longitud en las hojas es también mayor en comparación con las muestras testigo, sin embargo, es apreciable también un menor número de hojas en la muestra alcalina. Por otra parte, es ampliamente notable el efecto nocivo por contaminación con pilas ácidas (véase figura 15a).

Resultados y discusión

Estadísticamente es posible diferenciar los 2 grupos genéricos existentes en los cultivos de frijol, observándose

las diferencias en el desarrollo de sus tallos. Por otra parte, estos grupos observan diferencias con un nivel de significancia variable durante sus periodos de desarrollo, en función de una contaminación del suelo con pilas ácidas o alcalinas. El efecto de una contaminación con pilas ácidas se observa progresivo desde un efecto ligeramente favorable en bajos niveles de exposición hasta devastadora en exposición directa, no solo en la altura de los tallos como objeto de este estudio, también en la volumetría del cultivo. Por otra parte, la contaminación de suelos con pilas alcalinas muestra efectos progresivos desde un efecto ligeramente desfavorable hasta un efecto significativamente favorable en función del nivel de exposición a la contaminación y al ciclo de vida (tiempo) del cultivo, sin embargo la significancia favorable en la altura del tallo, contrasta con el efecto desfavorable en la volumetría del cultivo.

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y al Grupo Alter-Energías por el financiamiento al presente proyecto.

Referencias

- Al-Suburu, M. M., Salim, R., Douleh, A. y Atallah, A. (1993). Combined effects of cadmium, lead and copper on the growth and on metal uptake of broad beans, carrots, radishes and marrow vegetable [*Efectos combinados del cadmio, plomo y cobre en el crecimiento y absorción de metal en frijol, zanahoria, rábano y calabacín*]. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 9, 1-9.
- Basurto González, D. (2006, Marzo, 23). *Mitos y realidades de productos y materiales: pilas y baterías, II seminario sobre residuos*. Obtenido de http://www.gemi.org.mx/files/02_basurtoamexpilas190406.pdf.
- Bautista Rodríguez, C. M., Campos Pérez, J. M., Galicia Pineda, M. M., Rivera Márquez, J. A., Guevara García, J. A., Montiel Corona, V. y Castillo Velázquez, J. I. (2007). Estudio sobre la energía residual presente en las pilas doméstica "AA" recolectadas por el programa GAE-Cellbatt-05. *VII Congreso de la DSM. III Jornadas Iberoamericanas de pilas de combustible e hidrógeno*, México.
- Bautista Rodríguez C. M., Tapia, P. A. B., Gaytán, C. V., Rivera, M. J. A. y Torres, J. L. (2009). Implicaciones de la reforma sobre la legislación mexicana con respecto a tecnologías energéticas nuevas y convencionales. *IX Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno*, México.
- Benavides, A. (2000). Absorción y asimilación de hierro en las plantas. *Revista de Difusión Científica y Tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 3, 50-57.
- Borja, B. M. y García, S. J. A. (2008). Políticas para disminuir las importaciones de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: Un análisis por tipo de variedad, *Agrociencia*, 42, 949-958.
- Camacho Aguilar, K. I. (2006). Importancia del tratamiento de pilas descartadas, *Conciencia Tecnológica*, 32, 79-84.
- Castro Díaz, J. y Díaz Arias, M. (2004). La contaminación por pilas y baterías en México. *Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología*, 72, 53-74.
- Clijsters, H. y Van Assche, F. (1985). Inhibition of photosynthesis by heavy metals [*Inhibición de la fotosíntesis por metales pesados*]. *Photosynthesis Research*, 7(1), 31-40.
- Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) (2008, Noviembre, 17). *Resolución Brasileña No 257. Ministerio de Medio Ambiente. Brasil*. Obtenido de <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25799.html>
- Curtis, H. y Barnes, N. S., (2008). *Biología*. Buenos Aires, ARG: Editorial Médica Panamericana, 1160p.
- Galicia Pineda, M. M. (2007). *Manual de procedimientos GAE-CellBatt-05 aplicado en la BUAP para la gestión de pilas domésticas desechadas*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Gaytán, C. V. Tapia, P. A., Bautista, R. C. M., Rivera, M. J. A. y Marín, T. J. L. (2009). La legislación mexicana frente al tema de las pilas domésticas desechadas. *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencia Ambientales*, México.
- Genomasur (2011, Marzo, 15). *La Herencia*. Obtenido de: <http://www.genomasur.com/lecturas/Guia13.htm>.
- Kiatgamjorn, P., Khan-ngern, W. y Nitta, S. (2004). The study of electric field treatment affects on the growing based on electric field intensity and direction. *Asia-Pacific Conference Electromagnetic Fields*, THA.
- Ludas Viñuela, E. (2008). Metales pesados en los cultivos. *Boletín electrónico informativo sobre productos y residuos químicos*, 37, 1-4.
- Marolia, K. (2007). Evolución de la colección y reciclaje de pilas en Europa. *Asociación Europea de Pilas, Foro de pilas*, MEX.
- Martin, S. y Griswold, W. (2009). *Human health effects of heavy metals [Efectos de los metales pesados en la salud humana]*. Obtenido de <http://www.engg.ksu.edu/chsr/outreach/resources/docs/15HumanHealthEffectsofHeavyMetals.pdf>.
- Montgomery, D. C. y Runger, G.C. (1996). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. México: Mc Graw Hill Interamericana, 486p.
- Monu, A., Bala, K., Shweta, R., Anchal, R., Barinder, K. y Neeraj, M. (2008). Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources [*Acumulación de metales pesados en vegetales irrigados con diferentes fuentes de agua*]. *Food Chemistry*, 111, 811-815.
- Norma Mexicana Fabaceas-Frijol 038-SCFI-2002. (2011). *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano- Frijol (Phaseolus vulgaris L.)- Especificaciones y métodos de prueba*. Secretaría de Economía,