



Título del artículo.

**Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de *Phaseolus vulgaris*, parte 2: Estudio correlacional.**

Título del artículo en idioma Inglés.

**Effect of soil contamination by discarded household batteries on development of *Phaseolus vulgaris*, Part 2: correlational study.**

Autores.

Celso-Moisés Bautista-Rodríguez  
Ángel Pérez-Zempoaltecatl  
Daniel Cruz-González

Referencia bibliográfica:

MLA

Bautista-Rodríguez, Celso-Moisés, Ángel Pérez-Zempoaltecatl, Daniel Cruz-González. "Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de *Phaseolus vulgaris*, parte 2: Estudio correlacional". *Tlamati* 5.4 (2014): 28-35. Print.

APA

Bautista-Rodríguez, C. M., Pérez-Zempoaltecatl, A., Cruz-González, D. y Arriola-Morales, J. (2014). Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de *Phaseolus vulgaris*, parte 2: Estudio correlacional. *Tlamati*, 5(4), 28-35.

---

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 31 de Diciembre 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 2: Estudio correlacional.

Celso-Moisés Bautista-Rodríguez<sup>1\*</sup>

Ángel Pérez-Zempoaltecatl<sup>2</sup>

Daniel Cruz-González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alter-Energías Grupo. Tepetitlán No. 63, Col. Lomas del Sur, Puebla, México. C. P. 72470

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edificio 105 H, Prol. 14 Sur s/n, Ciudad Universitaria, Puebla, México. C. P. 72570.

\*Autor de correspondencia

celso.bautista@sener.com.mx

### Resumen

La contaminación de suelos, es un problema que afecta al desarrollo de la flora del planeta, generando una toxicidad potencial. La presencia de desechos indebidamente colectados en los residuos sólidos urbanos es cada vez mayor y la difusión de información del tratamiento adecuado de estos residuos resulta insuficiente. Adicionalmente, no existe en México una normatividad adecuada para la disposición final de estos desechos como lo son las pilas y baterías, las cuales están constituidas por metales pesados, ácidos y álcalis entre otros compuestos peligrosos. Un cultivo de interés económico en el país es el frijol, el cual forma parte importante de la base alimenticia en México y puede ser afectado en producción y calidad por la contaminación en suelo. El presente estudio representa un estudio estadístico correlacional, acerca de los efectos que puedan generar factores como el 2<sup>3</sup> de pilas, y el nivel de exposición de estas sobre el suelo e indirectamente sobre cultivos de frijol. Se elaboró un diseño experimental 2<sup>3</sup>, estableciendo las hipótesis en las cuales se cree que la naturaleza de las pilas, ácida o alcalina, genera un efecto significativo en el crecimiento de la planta, así como también el tipo de exposición a la que fue sometida la planta, con una pila cerrada, pila abierta, y pila completamente despedazada. Los resultados muestran un efecto, de estos factores por separado y un efecto combinado debido a la interacción de estas variables sobre el índice de crecimiento del cultivo de frijol, por lo que se propone el impulso de una norma en nuestro país que regule los niveles de contaminantes en las pilas y baterías de desecho y la disposición como residuos, de esta manera generar una mejor calidad en estas leguminosas y se favorezca la salud y la economía nacional.

**Palabras clave:** frijol, contaminación, pilas domésticas

### Abstract

Soil pollution is a problem that affects the development of the flora of the planet, creating a potential toxicity. The presence of improperly collected waste in municipal solid waste is increasing and disseminating information to appropriate treatment of these wastes is insufficient. Additionally, in Mexico there is no adequate regulations for disposal of these wastes as are the batteries, which consist of heavy metals, acids and alkalis among other hazardous compounds. A crop of economic interest in the country is the bean, which is an important part of the food base in Mexico and may be affected by the quality production and soil contamination. This study is a correlational statistical study about the

### Como citar el artículo:

Bautista-Rodríguez, C. M., Pérez-Zempoaltecatl, A., Cruz-González, D. y Arriola-Morales, J. (2014). Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de *Phaseolus vulgaris*, parte 2: Estudio correlacional. *Tlamati*, 5(4), 28-35.

effects that can generate factors such as  $2^3$  of batteries, and the exposure of these on the ground and indirectly bean crops. Experimental design  $2^3$  was developed, establishing the assumptions on which it is believed that the nature of the batteries, acid or alkaline, generates a significant effect on plant growth, as well as the type of exposure to which has been subjected plant with a closed cell, open pile, stack and completely shattered. The results show an effect of these factors separately and combined effect due to the interaction of these variables on the growth rate of bean cultivation, so that the momentum of a rule in our country that regulates the levels proposed pollutants in waste batteries and disposal as waste, thus generating better quality in these legumes, and health and national economy favors.

**Keywords:** beans, contamination, batteries.

## Introducción

La falta de conocimiento y normatividad acerca del tratado adecuado de las pilas y baterías gastadas, ocasiona severos problemas ambientales, debido a su inapropiada gestión en los desechos sólidos municipales (DSM). Las pilas domésticas desechadas deben ser consideradas como residuos peligrosos (RP) debido a que presentan 4 características CRETIB (corrosivas, reactivas, explosivas y tóxicas) por lo que requieren una disposición adecuada (Bautista, Rivera, Tepale y Romero, 2011). Al desecharse en el suelo o en rellenos sanitarios, la envoltura metálica que recubre las pilas se daña y las sustancias químicas que contienen se ven liberadas al medio ambiente causando contaminación (Galicia, 2007; Guevara, 2006). La problemática ambiental se debe a que en la tierra, existen metales pesados (como zinc, plomo, mercurio, litio, cadmio, etc.) encontrados en soluciones ácidas o alcalinas, estos metales se mezclan en el suelo por difusión natural en función de las características de éste, filtrándose por lixiviación hacia los mantos acuíferos, los cuales, al contaminar la vegetación, entran en la cadena alimenticia de animales y en consecuencia del ser humano, poniendo en riesgo su salud y generando impactos económicos en la sociedad (Galicia, 2007; Bautista, Campos, Galicia, Rivera, Guevara, Montiel y Castillo, 2007; Castillo y Bolaños, 2005).

Un cultivo de interés económico es el frijol, el cual es de gran importancia en la cadena alimenticia en México. Nuestro país se coloca en el quinto lugar de países productores de esta leguminosa (Borja y García, 2008; Norma Mexicana NMX-FF-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 (Romero; 2011).

A nivel internacional, existen leyes que establecen la gestión de 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 residuos sólidos urbanos no seleccionados. Las regulaciones

internacionales se han enfocado a establecer límites al contenido de metales en las pilas (Romero; 2011). 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, se trata del proyecto PROY-NMX-104-SCFI-2006. Este proyecto ha sufrido modificaciones pero a la fecha continúa en proceso de revisión y aprobación (Romero; 2011), por lo que es necesaria la aplicación de diversos estudios para poder impulsar el desarrollo de ese proyecto a convertirse en una ley semejante a la europea y/o brasileña (Bautista, Tapia, Gaytán, Rivera, y Torres., 2009; Gaytán, Tapia, Bautista, Rivera y Marín, 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.

El objetivo principal del presente estudio, es identificar los efectos en el crecimiento de tallos, producidos por contaminar suelos y en consecuencia cultivos con pilas de desecho, así como también diferenciar los efectos de las combinaciones entre pilas ácidas y alcalinas. Resulta relevante mencionar la carencia de reportes de investigaciones de esta naturaleza en el campo bibliográfico y por ello también nuestra propuesta en el presente documento. Otro objetivo viable es estudiar el efecto producido por este tipo de tratamientos y tratar de explicar el fenómeno dentro del sistema; existen estudios que demuestran la absorción de metales por las plantas, lo cual genera un efecto en el crecimiento de tallos y hojas (Galán y Romero, 2008; Clemens, Palmgren y Kramer, 2002; Navarro, Aguilar y López, 2007; Castro y Díaz, 2004). Para ello, se llevaron a cabo análisis estadísticos y correlacionales, aplicando técnicas como ANOVA y superficie de respuesta sobre los efectos de la contaminación de suelos por pilas domésticas ácidas y alcalinas desechadas, sobre cultivos de frijol (Montgomery, 2003).

## Metodología

El desarrollo experimental se realizó en un invernadero ubicado dentro del jardín botánico de la 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

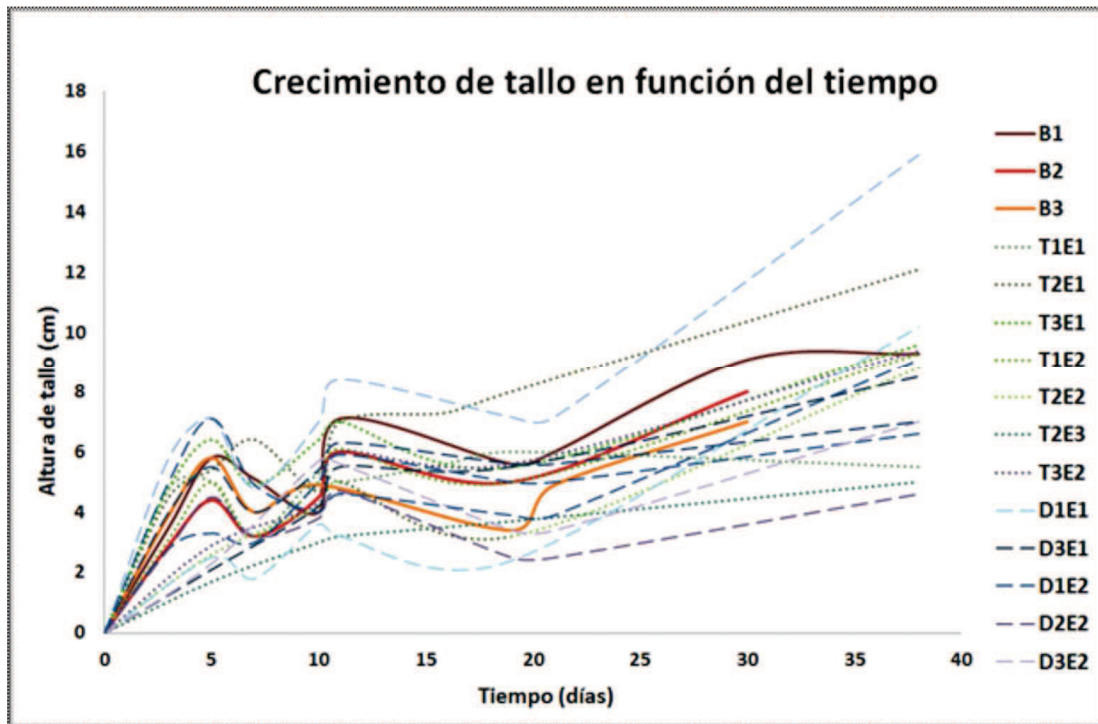


Figura 1. Gráficas de crecimiento de los tallos para el periodo total del experimento.

agua como riego (calidad Junghans) 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) Acido, 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 y se representa codificado en la 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, y la letra E indica 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 (Romero, 2011).

Los cultivos se regaron cada tres días (150 mL en las 4 primeras semanas y posteriormente 300 mL durante las siguientes semanas hasta el final del experimento) con agua de mesa de marca registrada, catalogada como de excelente calidad en estudios de Vidales al no encontrar microorganismos (coliformes, microorganismos mesofílicos y estreptococos) presentes en el agua y por su bajo contenido de sales (Vidales, 2000), dichas características son benéficas en el estudio para evitar una probable interferencia en los resultados de la experimentación, de la misma forma se tomaron medidas de las dimensiones de cada cultivo (largo del tallo, largo y ancho de las hojas) y finalmente se llevó a cabo un análisis del aspecto de las plantas de acuerdo al grado de exposición en función del tiempo.

## Resultados

La figura 1 muestra gráficas de crecimiento registrado (en diferentes fechas) para los cultivos durante el periodo experimental. En estas curvas de crecimiento, los autores observan al menos 3 cambios de pendiente significativos, dividiendo el estudio estadístico en el mismo número de periodos, siendo estos: i) Primer periodo (germinación y crecimiento): Día 3 al 10, ii) Segundo periodo (aparecen vainas de frijol): Día 11 al 21, iii) Tercer periodo (desarrollo de las vainas): Día 22 al 38. Este cambio de pendiente es atribuible a las diferentes etapas en el ciclo de vida de los seres vivos (Valenzuela, Luengas y Marquet, 1993).

En la tabla ANOVA (véase tabla 2), podemos observar 2 efectos por factores principales (pH y nivel de exposición) y una interacción entre ambos, siendo la variable de respuesta el Índice de Crecimiento (IC), teniendo unidades de cm/día y se obtiene como la pendiente en curvas de ajuste lineal para cada curva de crecimiento y cada periodo de análisis. Se hace un enfoque en el valor P para cada factor. Comparándolo con la condición de que si  $P > 0.05$  se acepta la hipótesis nula, en donde no existen alteraciones significativas para la variación del factor.

Así para el primer periodo, podemos notar que no existe un efecto estadísticamente significativo, al variar los factores pH y Exposición de manera independiente sobre la variable de respuesta (crecimiento en el tallo), sin embargo la interacción de las variables genera un efecto fuertemente significativo. En el segundo periodo de crecimiento, ninguno de los tres parámetros juega un papel importante en

Tabla 1. Diseño Experimental 2<sup>3</sup> para el estudio

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

el efecto significativo para los cultivos, no obstante, el valor P es muy cercano a 0.05 para los factores pH y la variable Exposición, se aleja moderadamente. En el tercer periodo, observamos un comportamiento similar al segundo, en donde sólo el factor pH es el que determina un efecto estadísticamente significativo en la variable de respuesta.

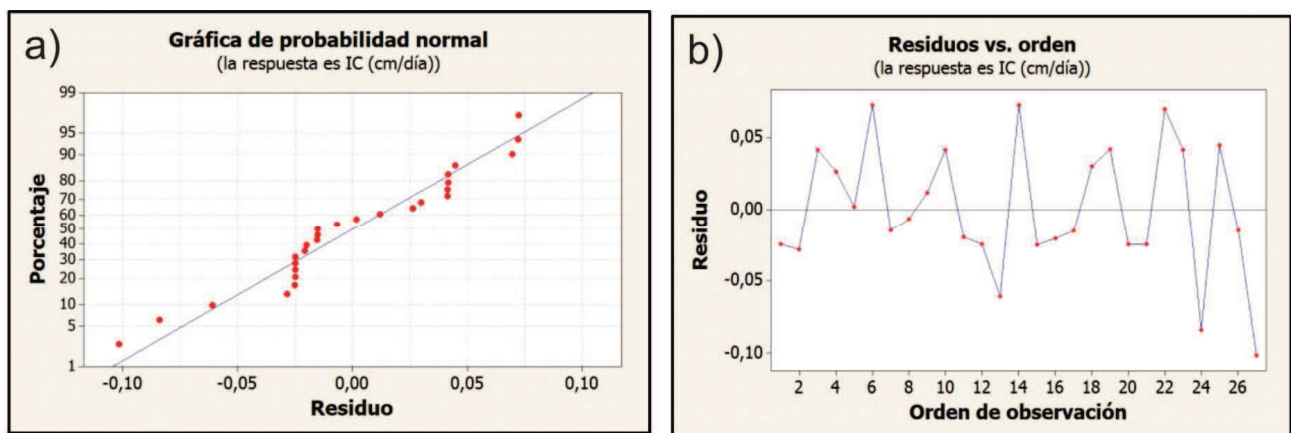
En la figura 2a, se muestra la gráfica de normalidad, la cual denota un acomodo aceptable de los residuales hacia una línea recta. En la figura 2b, se muestra la gráfica del residual contra el orden de la corrida (gráfica de independencia) y la dispersión aleatoria de los datos confirman la independencia aceptable del diseño experimental con respecto al tiempo. En cuanto al segundo y tercer periodo, se observan comportamientos muy similares, denotando así la idoneidad aceptable del modelo estadístico aplicado, y la correcta aplicación de los análisis de varianza.

En la figura 3 se observan las interacciones (cruces de líneas) de los factores para cada periodo. En la figura 3a, observamos una fuerte interacción debida a la combinación de los factores pH y exposición, interacción que produce un efecto, que para fines estadísticos es significativo (véase tabla 2). La figura 3b, para el periodo 2, muestra una interacción débil en comparación con lo observado en la figura 3a, no mostrando un cruce de líneas tan evidente, por lo que en la tabla 2, la interacción de estos factores no genera un efecto significativo en el crecimiento. En el periodo 3 (véase figura 3c) se nota una interacción más significativa, el cruce es aún más evidente que en el segundo periodo, sin embargo, esta interacción todavía no es considerada significativa por el estudio ANOVA como lo muestra el valor P de la tabla 2, sin embargo es importante señalar la aproximación que tiene al valor de 0.05.

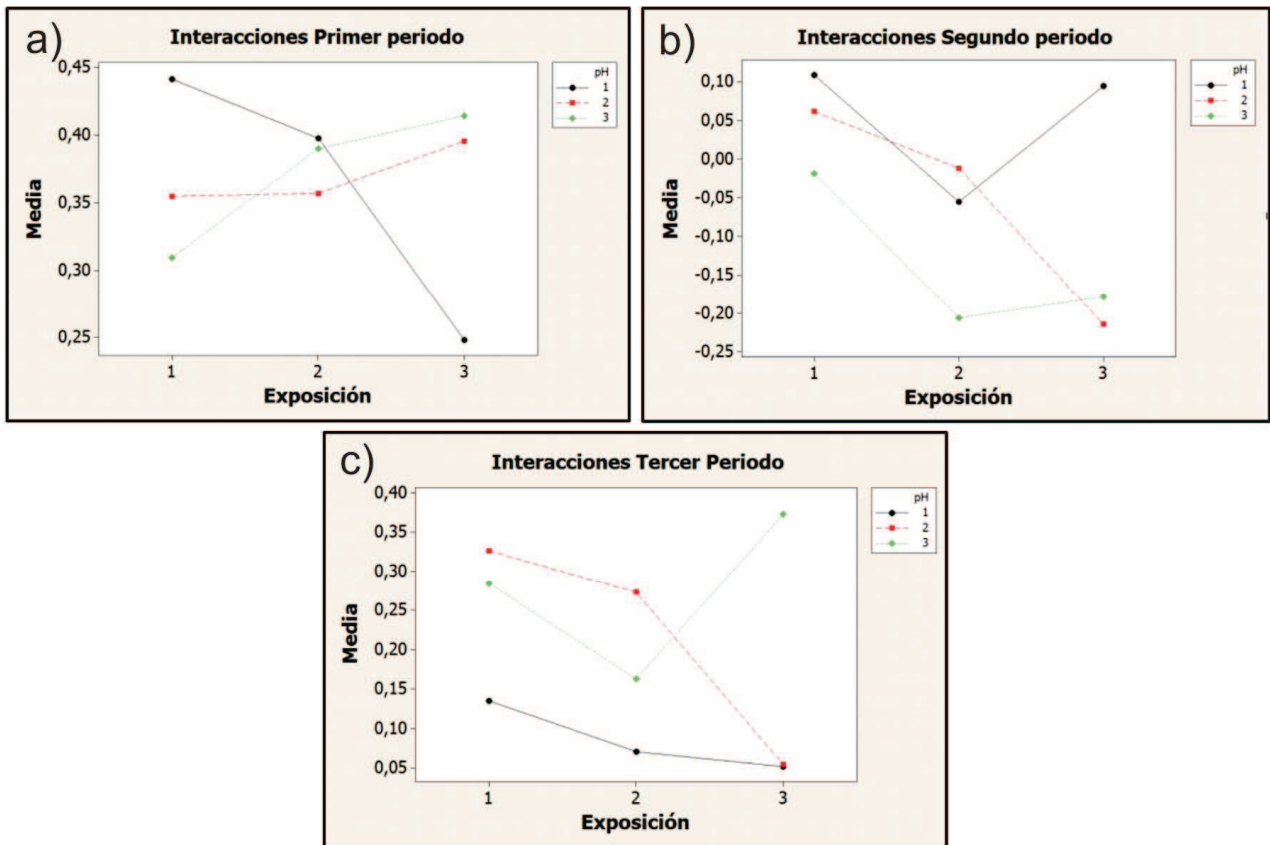
**Superficie de Respuesta**

*Primer periodo*

En este periodo (véase figura 4a), observamos que a un nivel de pH ácido, y con el primer nivel de exposición con pila cerrada, las velocidades de crecimiento de tallo (IC) se ven sorprendentemente favorecidas. Kiatgamjorn y Nitta (2002) demostraron que los cultivos de soya presentaban un desarrollo superior al estándar, al ser sometidos por 5 días a campos eléctricos de diferente intensidad. En este estudio, las pilas en el nivel de exposición 1 estaban cerradas e instaladas a aproximadamente 2 centímetros del centro de las macetas (lugar de la siembra de las semillas) a manera de electrodos, por lo que probablemente a causa del riego constante se generó un sistema electroquímico complejo de baja intensidad y probablemente variable, en función de la saturación de agua durante el riego, considerando que las pilas son de desecho y no se determinó la cantidad de energía residual. Este campo electroquímico podría ser capaz de afectar la difusión natural de los iones en el suelo y en consecuencia afectar sus procesos de absorción de iones metálicos por las raíces durante el desarrollo natural de los cultivos. En el caso de la pila alcalina, se observa un comportamiento completamente diferente al mostrado con la pila ácida, lo anterior puede atribuirse a la naturaleza de construcción de las pilas, en donde la pila alcalina presenta carcasa metálica (Zn) mientras la carcasa de la pila ácida es de cartón, el cual es degradable en presencia de humedad, luego entonces, este factor de la naturaleza de las pilas, puede ser una variable que interviene en la liberación de metales en el suelo, y en consecuencia, de la contaminación del cultivo. Por otra parte, los efectos



Figuras 2. a) Gráfica de Normalidad, b) Gráfica de Independencia



Figuras 3. a) Interacciones del primer periodo, b) Interacciones del segundo periodo, c) Interacciones del tercer periodo

sobre el IC de los cultivos se invierte en el nivel de exposición 3, esto es; el ambiente ácido es altamente agresivo contra el crecimiento de los cultivos mientras que el ambiente alcalino parece ser favorable, siendo atribuible a una probable corrosión del electrolito ácido de las pilas despedazadas sobre las raíces de los cultivos, impidiendo así su desarrollo (Benavides, 2000).

En la figura 4b, también se observa el favorecimiento del IC, en un valor de pH alcalino, y un nivel de exposición 3 con pila despedazada, probablemente la combinación de estos factores logró este favorecimiento. En la tabla ANOVA (véase tabla 2), se muestra un valor  $P = 0.000$ , que denota la significancia de la interacción de estos factores. Se sabe que algunos iones de metales pesa-

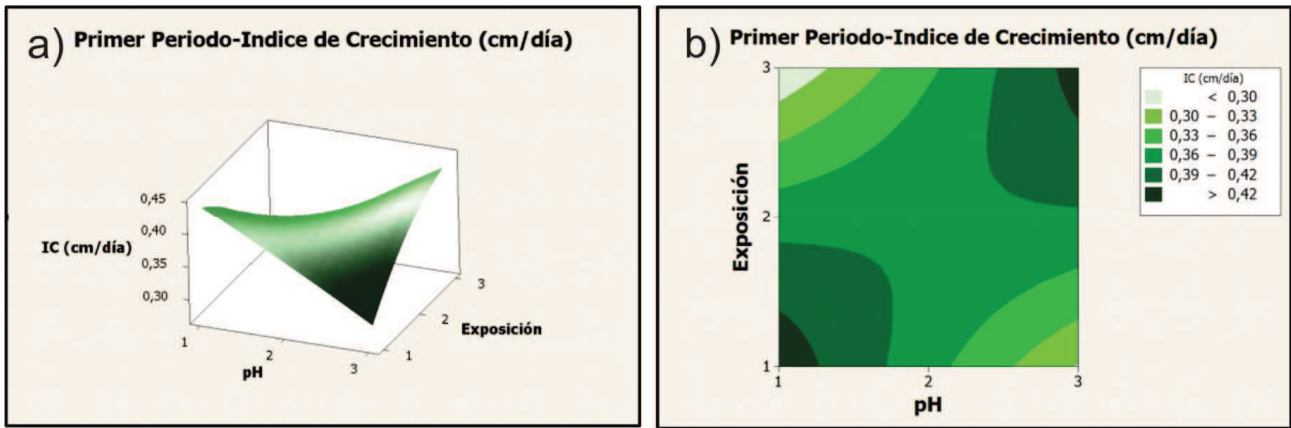
dos (como el Fe, Zn o Cu) en un pH entre 5.5 y 6.5, y ligeramente alcalinos, no pueden ser absorbidos directamente, la forma en que ingresan a las plantas es por medio de quelatos sintetizados biológicamente cuya función es acarrear los iones metálicos. La formación de estos quelatos usualmente se lleva a cabo en un pH de entre 6 y 9, debido a que en ambientes ácidos, los iones de metales pesados son solubles y absorbidos fácilmente, por lo que la formación de quelatos estables se da en ambientes alcalinos (Romero, 2011). Por ejemplo el hierro (Fe), es uno de los metales solubles en medio ácido y que en un medio alcalino se tiene disponible formando parte de un quelato (Romero, 2011). Robinson y colaboradores, 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, Procter, Connolly y Guerinet, 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.

*Segundo periodo*

Para las figuras 5a y 5b, podemos notar una desviación a un crecimiento débil en la planta para valores de pH alcalino, con los tres niveles de exposición. Para el nivel ácido

Tabla 2. Valores P de las ANOVAS del DE2<sup>3</sup> por periodo

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



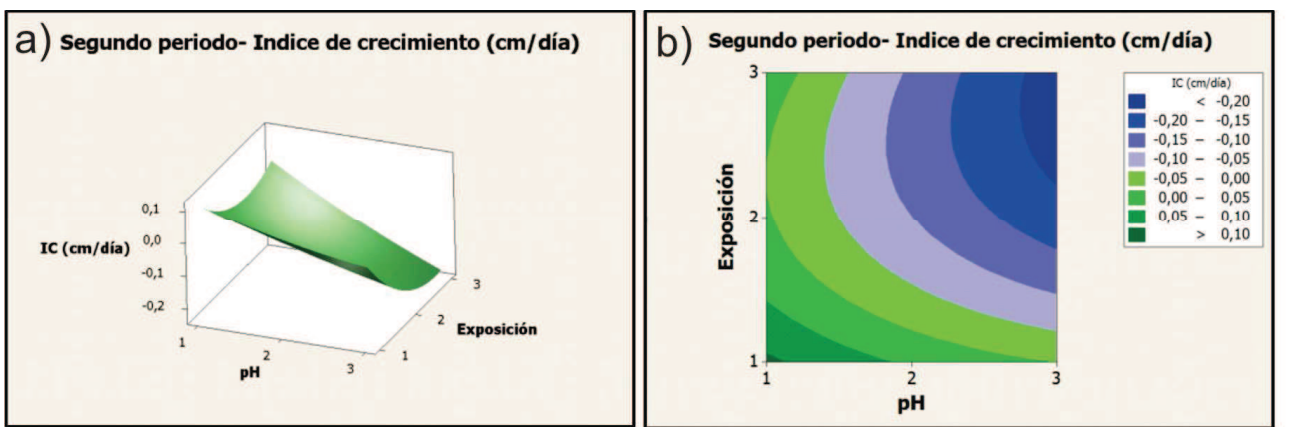
Figuras 4. a) Gráfica superficial 3D para el primer periodo, b) Grafica de contorno superficial para el primer periodo

y la primera exposición se observa una velocidad de crecimiento mayor al control, una posible explicación de este fenómeno se propuso en párrafos anteriores, en la discusión del periodo uno, siendo este máximo un efecto del periodo anterior. Para el mismo nivel ácido, pero con la exposición 3, notamos que los IC comienzan a disminuir, esto se puede atribuir a que la mayoría de los metales tienden a estar disponibles y solubles en un pH ácido, en consecuencia podemos inferir que la presencia de metales con mayor cantidad (pila despedazada) comienza a tener un efecto de toxicidad, provocando un bajo desarrollo de la planta (Galán y Romero, 2008). A un nivel de pH alcalino con la tercera exposición, observamos IC muy pobres, es decir, se observó un debilitamiento de la planta. Los metales pesados poseen gran capacidad para unirse con moléculas orgánicas. En este sentido, cabe destacar la gran afinidad que muestran los metales pesados para formar ligandos, tales como grupos sulfhidrido, radicales amino, fosfato, carboxilo e hidroxilo. El resultado de estas uniones ligando-metal puede ser muy perjudicial para la célula, puesto que puede generar el desplazamiento de elementos esenciales de su metabolismo estándar, produciendo efectos de deficiencia (Navarro et al., 2007). Esta combinación de niveles de factor pudo ocasionar el debilitamiento antes descrito, ocasionando ese desequilibrio y desplazamiento

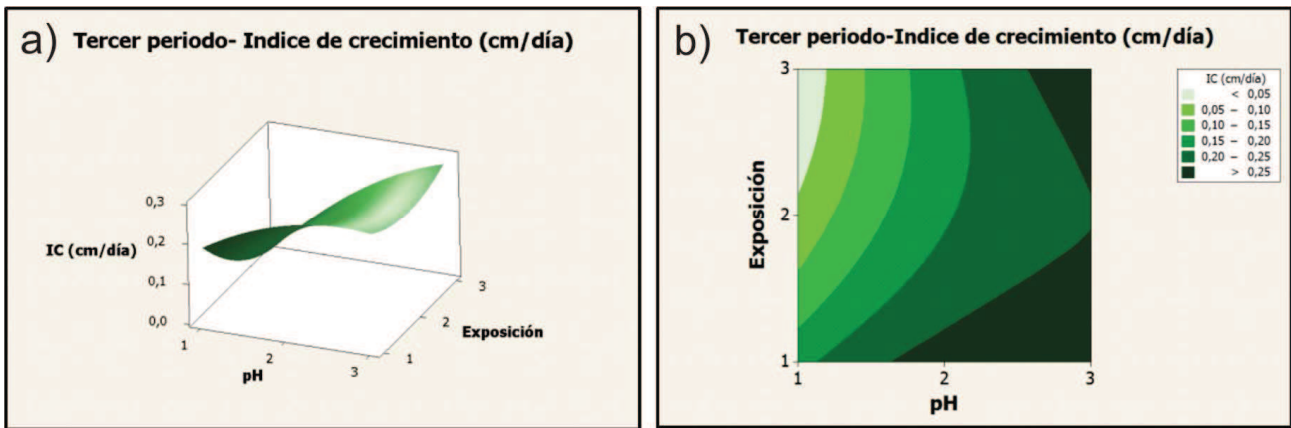
de elementos esenciales, y probablemente es la razón por la cual se observa un IC muy bajo. Un factor que suponemos, probablemente pudo intervenir en el IC, fue el hecho de que en este periodo aparecen las primeras vainas de frijol; es sabido que en periodos de reproducción para una planta, el crecimiento se ve inhibido, debido a que los recursos y nutrientes, se centran y enfocan en el desarrollo del embrión y se lleva a cabo la reproducción (Universidad Nacional del Nordeste, 2013; Universidad de Sevilla, 2013). Por tanto, se cree que en esta etapa el crecimiento se ve afectado por la reproducción de la planta, además de que existen diferencias entre los cultivos contaminados (pilas ácidas y alcalinas) y los cultivos control.

*Tercer periodo*

En las figuras 6a y 6b, es posible destacar un IC, muy alto en las tres exposiciones, en un ambiente alcalino. Fue en este periodo, la etapa en la que se observó la madurez del cultivo, y en que la planta desarrolló las vainas de semillas de frijol generadas en el segundo periodo. En este lapso de madurez, comienza la generación de frutos, las hormonas juegan un papel importante en las respuestas de los cultivos, ya que se consideran reguladores químicos, e integran el crecimiento, desarrollo y actividades metabólicas (Romero, 2011). También ocurre la reproducción sexual, para las plantas comienza un nuevo ciclo de vida (Curtis y



Figuras 5. a) Grafica superficial 3D para el segundo periodo, b) Grafica de contorno superficial para el segundo periodo



Figuras 6. a) Grafica superficial 3D para el tercer periodo, b) Grafica de contorno superficial para el tercer periodo

Barnes, 2008).

Observamos en la figura 6b, que en un valor de pH ácido y la primera exposición de pila, todavía se sigue favoreciendo el crecimiento, sin embargo se observa menor comparado con los periodos anteriores, probablemente, debido a que la planta se dedica a la producción de sus frutos, y reduce su crecimiento. Por otra parte, en el mismo nivel de pH, pero con la exposición 3, podemos notar que la disponibilidad y solubilidad de los metales pesados provoca un bajo valor IC, probablemente debido a que los niveles de concentración perjudican la velocidad de crecimiento, discutidos en el segundo periodo.

En la misma figura 6b, a un valor de pH alcalino, se ve favorecida la velocidad de crecimiento (IC), esto puede ser atribuido a la discusión que se ha hecho en párrafos anteriores; algunos metales, como el zinc, son más móviles en ambientes alcalinos; y pueden ser absorbidos con facilidad por las plantas (Romero, 2011). Otro mecanismo, es la quelatación, y el desplazamiento de elementos importantes para la vida de la planta misma, por el agente quelante. 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, 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).

### Discusión y conclusiones

Efectos por contaminación de pilas en cultivos de frijol se observaron a partir de dos factores importantes en el desarrollo de estas plantas, el pH de las pilas desechadas, y el nivel de exposición a la contaminación del suelo por pilas domésticas desechadas. El ANOVA muestra una afectación significativa individual y en ocasiones combinada de los factores sobre el desarrollo del cultivo, en forma variable y en función de las etapas de crecimiento, es decir; los efectos son diversos y variables en cada una de las etapas de desarrollo. Por otra parte, el análisis de superficie de respuesta muestra la complejidad de la manifestación de los efectos principales durante los periodos en estudio para el cultivo de Frijol. Donde un pH ácido elevado es tóxico durante los primeros días de vida del cultivo mientras un

ambiente altamente alcalino parece estimular el índice de crecimiento del Frijol. Sin embargo esta manifestación se invierte durante la etapa de preparación a la reproducción y durante el periodo sucesivo, nuevamente la alcalinidad favorece al índice de crecimiento del cultivo mientras un pH ácido lo inhibe, todo esto en presencia de los metales pesados que constituyen a las pilas domésticas. Los autores proponen el complemento de este estudio con análisis adicionales y complementarios acerca del suelo y su interacción con el cultivo, y la propia naturaleza de las plantas de frijol; también se hace énfasis en el fomento a la implementación de una normatividad más específica en México acerca del manejo de las pilas, su disposición como desecho, y el tratamiento que evite la contaminación del agua, suelo y las plantas, con el propósito de impedir o al menos reducir al máximo los efectos en la salud de la sociedad.

### 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

- Bautista, R. C. M., Rivera, M. J. A. Tepale, O. N. y Romero, Z. A. G. (2011). *Pilas combustible frente a pilas convencionales: toxicidad, legislación y sus implicaciones en la reforma energética mexicana*. Puebla, MEX: BUAP.
- Bautista, R. 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*. MEX.
- Bautista, R. C. M., Campos, P. J. M., Galicia, P. M. M., Rivera, M. J. A. Guevara, G. Montiel. C. V., Castillo, V. J. I. (2007). Estudio sobre la energía residual presente en pilas domésticas "AA" recolectadas por el programa GAE-Cellban-05. *La jornada de pilas de combustible e hidrógeno y VII congreso de la SMHL*. Chihuahua, MEX.
- 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.
- Castillo V. J. L. y Bolaños B. J. L. (2005). Tecnología para el tratamiento de pilas y baterías desechadas a partir de equipos electrónicos portátiles. *International Journal of environmental pollution*. 21(1), 1159-1164.
- Castro, J. y Díaz, M. L. (2004). La contaminación por pilas y baterías en México. *Gaceta Ecológica*. 72, 53-74.
- Clemens S., Palmgren, G. M., Kramer, U. (2002). A log way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends in plant science*. 7, 309-315.
- 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*. MEX.
- Guevara, G. J. A., Castillo, V. J.L., Meléndez, P. E., Montiel, C. V. y Bautista, R. C. M. (2006). Complete end-of-life management of cells and batteries by the route: electronic reuse-components recovery-chemical recycling: an economical and low environmental impact alternative for the disposal. *The second International meeting on Environmental Biotechnology and Engineering*. (21MEBE), MEX.
- Kiatgamjorn, P. K. y Nitta, W. S. (2002). The effect of electric field on bean spout growing. *International Conference on Electromagnetic Compatibility (ICEM)*. THA.
- Marolia, K. (2007). Evolución de la colección y reciclaje de pilas en Europa. *Asociación Europea de Pilas, Foro de pilas*. MEX.
- Montgomery, D. C. (2003). *Diseño y Análisis de Experimentos*. México, D. F.: Limusa Wiley, 692p.
- Navarro, A. J. P., Aguilar, A. I. y López, M. A. R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16 (2), 10-25.
- NMX-FF-038-SCFI-2002. (2011). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano- Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)- Especificaciones y métodos de prueba. SAGARPA. México
- Robinson, N. J., Procter, C. M., Connolly, E. L. y Guerinot, M. L. (1999). A ferric-chelate reductase from iron uptake from soils. *Nature*. 397, 694-697.
- Romero, Z. A. G. (2011). *Efecto de la contaminación en suelo por pilas domésticas desechadas sobre el desarrollo de cultivos de frijol*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Secretaría de Economía. (Noviembre 21, 2012). *Análisis de la Cadena de Valor del Frijol*. Obtenido de: [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/analisis\\_cadena\\_valor\\_frijol.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/analisis_cadena_valor_frijol.pdf)
- Universidad de Sevilla. (Noviembre 21, 2013.). *La evolución de las características vitales: crecimiento, reproducción y envejecimiento*. Obtenido de: [http://asignatura.us.es/aeovveg/BP\\_tema6.pdf](http://asignatura.us.es/aeovveg/BP_tema6.pdf).
- Universidad Nacional del Nordeste. (Noviembre 21, 2013.). *Crecimiento*. Obtenido de: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Crecimiento.pdf>.
- Valenzuela, R., Luengas, B. J. y Marquet. L. S. (1993). *Manual de Pediatría*, MEX: McGraw-Hill, 858p.
- Vidales Olivo, A. (2000). Diagnóstico de la calidad de agua de mesa: Una acción positiva, *Conciencia Tecnológica*, 14, 41-46.