



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

---

**DISPONIBILIDAD NUTRIMENTAL DE COMPOSTAS A  
PARTIR DE SU FRACCIÓN LÁBIL**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
DESARROLLO RURAL**

**P R E S E N T A:**

**FREDY NIEVES GONZÁLEZ**

**CODIRECTORES DE TESIS**

Dr. Porfirio Juárez López

Dr. Gelacio Alejo Santiago



Cuernavaca, Morelos.

Junio de 2019

**DISPONIBILIDAD NUTRIMENTAL DE COMPOSTAS A PARTIR DE SU  
FRACCIÓN LÁBIL**

Tesis realizada por **Fredy Nieves González** bajo la Dirección de Comité Revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**

---

Codirector: Dr. Porfirio Juárez López

---

Codirector: Dr. Gelacio Alejo Santiago

---

Revisor: Dr. Irán Alia Tejacal

---

Revisor: Dr. Gregorio Luna Esquivel

---

Revisor: Dr. Víctor López Martínez

---

Revisor: Dr. J. Diego García Paredes

---

Revisor: Dr. Óscar Gabriel Villegas  
Torres

---

Revisor: Dr. Dagoberto Guillén  
Sánchez

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para estudios de Doctorado.

A mi Comité Tutorial, quienes coadyuvaron en el logro de los objetivos y pulieron el trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
CAPÍTULO I .....	1
Introducción general .....	1
Residuos orgánicos .....	2
Estiércoles .....	2
Abonos verdes .....	3
Compostas .....	4
Aporte nutrimental de las compostas .....	5
Selección de materiales para la composta .....	6
La materia orgánica del suelo .....	7
La importancia de la materia orgánica en propiedades del suelo .....	8
Propiedades físicas .....	8
Propiedades biológicas .....	8
Propiedades químicas .....	9
En fertilidad del suelo .....	9
En aporte de nutrimentos .....	9
Cuantificación de la materia orgánica y su aporte nutrimental .....	11
Objetivos .....	12
Objetivo general .....	12
Objetivos específicos .....	12
Hipótesis .....	13
Hipótesis general .....	13
Hipótesis específicas .....	13
Literatura citada .....	14
CAPITULO II .....	17
Aporte de N, P y K de la fracción lábil de compostas en función de su origen y de la concentración de ácido sulfúrico como extractante .....	17
Resumen .....	17
Summary .....	18
Introducción .....	19
Resultados y discusión .....	21

Conclusiones .....	25
Literatura citada .....	26
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>29</b>
<b>Cuantificación del aporte nutrimental a corto plazo de compostas .....</b>	<b>29</b>
Resumen.....	29
Summary .....	29
Introducción .....	30
<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>31</b>
Elaboración de las compostas .....	31
Establecimiento del cultivo y diseño experimental .....	32
Variables.....	32
Análisis estadístico .....	33
Resultados.....	34
Discusión.....	39
Conclusiones .....	40
Literatura citada .....	40
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>44</b>
<b>Nutrición fosfatada en producción de plántulas de pepino y chile habanero</b>	<b>44</b>
Resumen.....	44
Summary.....	45
Introducción.....	46
<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>47</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>49</b>
Peso seco de raíz.....	52
Fósforo en hoja .....	52
Fósforo en tallo .....	53
Conclusiones.....	53
Literatura citada .....	54
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>56</b>
<b>Conclusiones generales.....</b>	<b>56</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza de los residuos resistentes y lábiles.....	22
Cuadro 2. Prueba de medias para las variables del factor residuos. ....	23
Cuadro 3. Análisis de varianza de los tratamientos con un arreglo factorial bajo un diseño en bloques completos al azar. ....	23
Cuadro 4. Prueba de medias de las variables que presentaron diferencia estadística por efecto de los tratamientos. ....	24
Cuadro 5. Contrastes ortogonales entre grupo de tratamientos con concentraciones de ácido sulfúrico y residuo similares entre ellos. ....	25
Cuadro 6. Análisis de varianza para las variables del experimento de extracción de elementos nutrimentales disponibles en composta del cultivo de pepino. ....	34
Cuadro 7. Matriz de correlaciones de Pearson de las variables del experimento de extracción de nutrimentos disponibles en composta del cultivo de pepino. ....	35
Cuadro 8. Autovalores y varianza del experimento de extracción de nutrimentos disponibles en compostas del cultivo de pepino mediante el análisis de componentes principales.....	36
Cuadro 9. Correlaciones de las variables del experimento de extracción de nutrimentos del cultivo de pepino con los componentes principales que explican el 85.51 % de la variación total. ....	37
Cuadro 10. Balance de cationes y aniones en los tratamientos de soluciones nutritivas aplicadas a las plántulas de pepino y chile habanero. ....	48
Cuadro 11. Análisis de varianza de las variables evaluadas en plántulas de pepino y chile habanero. ....	49
Cuadro 12. Prueba de medias en variables de plántulas de pepino y chile habanero. ....	50
Cuadro 13. Valores de p del método contrastes ortogonales ( $\alpha=0.05$ ) en variables de plántulas de pepino y chile habanero. ....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Agrupamiento de las variables del experimento de extracción de nutrimentos disponibles en compostas del cultivo de pepino mediante el método clúster. ....	38
--	----

## CAPÍTULO I

### Introducción general

En la agricultura sustentable, la aplicación de materiales orgánicos al suelo es necesaria porque éstos ayudan a reconstruir la materia orgánica del suelo y son una fuente de nutrimentos para las plantas. La principal fuente de carbono para el suelo son los residuos vegetales, sin embargo, también son utilizados estiércoles, lodos de aguas residuales y otros desechos industriales (Álvarez *et al.*, 2006). La composta es el material orgánico más cercano a la manera en que la naturaleza fertiliza los bosques y los campos. Las principales ventajas de la aplicación de composta son: retención de nutrimentos, mejoramiento de estructura del suelo, retención de humedad, sustento de la vida microbiana y aporte nutrimental (Lamas *et al.*, 2003).

Este aporte nutrimental está directamente relacionado con la calidad de los materiales que lo componen en cuanto a su contenido nutrimental y velocidad de mineralización. Se ha establecido la relación C/N como indicador de calidad de los residuos; sin embargo, no siempre funciona como tal debido a que por sí misma no es suficiente para explicar toda la variabilidad observada en la mineralización (Hernández *et al.*, 2007).

Dentro de los factores que inciden directamente en la velocidad de descomposición de los residuos se encuentran los siguientes: pH, temperatura, humedad, biomasa microbiana y calidad de residuo; en este sentido si se incorporan diferentes residuos a un sistema de producción, la capacidad de aporte nutrimental de cada uno de ellos dependerá exclusivamente de su calidad; dicha calidad está influenciada por la facilidad (fracción lábil) o resistencia (fracción resistente) que presentan ante el proceso de mineralización.



## **Residuos orgánicos**

Se entiende por residuos orgánicos a todo subproducto, ya sea de origen animal o vegetal, que son biodegradables. Estos pueden ser aprovechados en la producción agrícola al incorporarlos al suelo como fertilizantes; no obstante, para su manejo adecuado es necesario conocer características químicas de sus componentes, pues los nutrimentos que contienen no están inmediatamente disponibles para los cultivos (Hernández *et al.*, 2007; Rubenacker *et al.*, 2011). Los principales residuos orgánicos utilizados en la agricultura se analizan a continuación.

## **Estiércoles**

Cuando un productor agrícola toma la decisión de utilizar estiércoles con fines de mejorar la fertilidad del suelo, debe considerar: la correspondencia entre los aportes de nutrientes, su carga microbiológica, tipo de suelo de su parcela, así como las prácticas de manejo que utilizará. Por lo general, los estiércoles contienen pequeñas cantidades de nutrientes y su carga microbiológica es muy elevada (Espinoza *et al.*, 2009).

El estiércol proveniente del ganado vacuno posee una menor condición como fertilizante. Sin embargo, presenta el menor riesgo desde el punto de vista de la salud humana. Por el contrario, los estiércoles de cerdo y aves presentan mayor potencial de riesgo para la salud por relacionarse con altas cargas de microorganismos fecales; al ser incorporados al suelo se está incrementando la incidencia de patógenos (Espinoza *et al.*, 2009).

Por otro lado, los patrones de mineralización de estiércol son diferentes entre los materiales que lo forman. El estiércol de ave aporta una alta cantidad de N disponible y aumenta los valores de nitrógeno mineral en el suelo, con una mineralización posterior restringida. El estiércol de vaca no realiza inicialmente un aporte significativo a la disponibilidad de N; no obstante, promueve la actividad microbiana en el suelo, lo que aumenta la mineralización de N a mediano plazo (Pino *et al.*, 2008). El N en el estiércol puede ser separado en tres fracciones: una

fracción que se descompone rápidamente y representa el 10% del N total; una fracción que se mineraliza dentro del primer año de aplicación y representa el 46% del N total; la restante se descompone lentamente y puede estar disponible para el cultivo años después de su aplicación (Espinoza *et al.*, 2012). Esto debe considerarse en los planes de manejo de los suelos para evitar excesos de este nutriente y problemas de salinidad (Flores *et al.*, 2013).

La dosis de estiércol no es el único factor a considerar, ya que la disponibilidad final de macroelementos como el P está determinada también por el tipo de suelo sobre el cual se aplicará el estiércol (Flores *et al.*, 2013).

Por consiguiente, los estiércoles manejados en forma inadecuada pueden causar problemas ambientales; en México aún no han sido considerados como subproductos susceptibles de aprovechamiento (Olivares *et al.*, 2012). El problema radica en que los productores aplican el estiércol sin conocimiento de la dosis, las características químicas y de humedad de éste, ni de las condiciones físicas y químicas del suelo; en lugar de beneficiarlo, se podría afectar la fertilidad de los suelos en donde se aplican (Flores *et al.*, 2013).

En general, todos los estiércoles producen un aumento en la actividad biológica del suelo (Pino *et al.*, 2008), lo que favorece la mineralización de la materia orgánica. El inconveniente es que, al aplicar estiércol sin compostar, se está aplicando también una alta cantidad de patógenos y sustancias tóxicas para el cultivo.

### **Abonos verdes**

Un abono verde es una masa vegetal no descompuesta que es incorporada al suelo. La introducción a escala más extensiva de los abonos verdes depende de numerosos factores, entre ellos: la necesidad de producir las semillas en las mismas unidades donde van a ser utilizados, la inclusión de estos en los planes de rotación

y asociación de los cultivos económicos en las fincas, así como la necesidad de una mayor conciencia de esta práctica entre los agricultores; se deben tener en cuenta las características de cada especie en cuanto a su velocidad y extensión de la mineralización, de esta manera será posible optimizar la absorción tanto del nitrógeno como de los otros macroelementos que aportan los abonos verdes (Martín y Rivera, 2004; Félix *et al.*, 2010).

En el proceso de mineralización del N de los abonos verdes, la presencia de las raíces de las plantas estimulan el proceso de mineralización debido a la riqueza microbiana de su rizosfera y a la activa absorción del N que realizan (Martín y Rivera, 2004).

En estudios realizados en condiciones de macetas en Brasil, se observó que entre el 85 y el 95 % del N proveniente de los abonos verdes fue absorbido por el maíz en los primeros 29 días después de la germinación (Martín y Rivera, 2004).

### **Compostas**

La composta es materia orgánica atacada por microorganismos en un proceso de fermentación aeróbica en un ambiente cálido y húmedo que favorezca la acción microbiana. En la producción de compostas es importante considerar tres elementos: 1) rapidez del proceso y bajo consumo de energía, 2) calidad de un producto para la agricultura y con valor fertilizante satisfactorio, y 3) inocuidad de la composta (Velasco *et al.*, 2004). Este proceso pasa por una fase termófila, dando al final como producto de los diferentes procesos de transformación, minerales, materia orgánica estabilizada e higienizada, poblaciones microbianas útiles, sustancias húmicas y bioactivadores de la fisiología vegetal (Salgado *et al.*, 2010).

Son diversos y complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, los cuales están influenciados no solamente por las condiciones

ambientales, sino también por el tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje que se emplee (Acosta *et al.*, 2006).

Se consideran óptimas temperaturas de 35 a 55°C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, superiores a 70° C, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al entrar en dormancia. En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance niveles óptimos de 40 a 60%. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir, se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja, se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento (Acosta *et al.*, 2006).

Con el compostaje se persigue aumentar la similitud entre la materia orgánica de los residuos y de los suelos, eliminar los posibles productos tóxicos que puedan permanecer en los residuos y aumentar la estabilidad biológica o resistencia a la biodegradación, con lo que se resuelven o atenúan los efectos desfavorables de la descomposición de los restos orgánicos sobre el propio suelo (Labrador 2001).

La aplicación al suelo de residuos orgánicos frescos sin compostar, tienden a producir toxicidad en las plantas, debido principalmente a la inmadurez e inestabilidad de la materia orgánica existente y al contenido de sustancias fitotóxicas de naturaleza orgánica ( Acosta *et al.*, 2006). Es recomendable que, en el caso de germinar semillas con composta, estos materiales sean debidamente compostados (Velasco *et al.*, 2004).

### **Aporte nutrimental de las compostas**

La composta mineraliza solo una fracción del contenido total de N orgánico incorporado, alrededor del 2.5% para el ciclo de cultivo. En el caso de fósforo, del

20 al 40% del P total contenido en compostas está en forma disponible para las plantas. Más del 85% del K total contenido en las compostas está en formas disponibles (Olivares *et al.*, 2012).

### **Selección de materiales para la composta**

Las leguminosas presentan un bajo contenido de lignina y taninos, que son precursores de las sustancias húmicas. Por lo tanto, a pesar de tener un alto contenido de cationes intercambiables disponibles para la planta (Ca y Mg), el material vegetal con baja relación C/N tendrá un proceso de degradación simple y el humus resultante tendrá un bajo contenido de materia orgánica, así como bajo contenido de sustancias húmicas. Los cereales presentan un elevado contenido de lignina y taninos, al igual que relación C/N alta, lo que conlleva un proceso de humificación más lento con mayor contenido de materia orgánica y mayor contenido de ácidos húmicos y fúlvicos pero con bajo contenido de nutrientes disponibles para la planta (Félix *et al.*, 2010).

En la elaboración de la composta debe incluirse ingredientes ricos en P y K para alcanzar relaciones entre estos elementos y el carbono orgánico que promuevan tasas de mineralización óptima de la materia orgánica (León *et al.*, 2006).

En la generación de dosis a partir de materiales orgánicos, no basta sólo con saber la concentración de los nutrimentos, ya que estos no se liberan tan pronto se aplique al suelo como si se tratase de fertilizantes sintéticos solubles, aun tratándose de materiales muy lábiles (Hernández *et al.*, 2007). El tiempo mínimo necesario, dependiendo de los residuos que la componen, para que se muestren los efectos de la aplicación de composta es de 8 meses (Olivares *et al.*, 2012).

## **La materia orgánica del suelo**

El residuo orgánico incorporado al suelo pasa a formar parte de la materia orgánica de este. Los principales componentes de la materia orgánica son: carbohidratos, compuestos fenólicos, compuestos nitrogenados, lípidos, ácidos orgánicos, pigmentos, alcaloides, hormonas, antibióticos, vitaminas, estos últimos pueden proceder de la actividad biológica de microorganismos (Labrador, 2001). Todos estos componentes sufren dos procesos de transformación conocidos como humificación y mineralización (Julca *et al.*, 2006).

La humificación conlleva la descomposición, oxidación, condensación y polimeración, que arroja como resultado sustancias de peso molecular alto, de color oscuro, con propiedades coloidales e hidrofílicas marcadas, que presentan alta capacidad de intercambio iónico y que engloban compuestos aromáticos y alifáticos en sus moléculas. Estas sustancias son conocidas como sustancias húmicas o humus (Labrador, 2001). El humus estable o estabilizado es la materia orgánica ligada al suelo, es decir, sólidamente fijada a los agregados de color oscuro. Su composición es muy compleja (huminas, ácidos húmicos y fúlvicos) y tiene una relación C/N constante entre 9 y 10, y representa en promedio el 75-80 % del humus total (Julca *et al.*, 2006).

Se denomina mineralización al proceso por el cual los nutrientes que se encuentran en moléculas orgánicas son degradados por microorganismos a formas inorgánicas (Celaya y Castellanos, 2011); en el caso de la materia orgánica, el humus recibe la acción de otros microorganismos que lo destruyen progresivamente (1 a 2 % anual del total de humus) liberando así los minerales que luego absorberán las plantas (Julca *et al.*, 2006).

Durante periodos de secado, los microorganismos del suelo incorporan solutos para ajustarse osmóticamente a la ausencia de agua en el suelo, inmovilizando y, por tanto, disminuyendo la concentración de nutrientes disponibles en el medio. La

capacidad de aclimatación a ciclos de secado y rehumedecido es propia de cada microorganismo, siendo mayor para bacterias gram-positivas. Durante los periodos de rehumedecimiento del suelo, los microorganismos liberarían osmolitos previamente acumulados durante periodos de secado, los cuales pueden ser cuantitativamente importantes, constituyendo así, una reserva de nutrimentos para las plantas (Gallardo *et al.*, 2009).

## **La importancia de la materia orgánica en propiedades del suelo**

### **Propiedades físicas**

El color oscuro del suelo es consecuencia del contenido de humus, los suelos ricos en humus se calientan más y mantienen un régimen térmico con mayor estabilidad; forma agregados que dan estabilidad estructural al unirse a las arcillas, lo que favorece la penetración del agua y su retención, lo que a su vez disminuye la erosión y favorece el intercambio gaseoso (Labrador, 2001; Julca *et al.*, 2006).

### **Propiedades biológicas**

Constituye una reserva metabólica para el desarrollo de los microorganismos, favoreciendo así los procesos de mineralización; el desarrollo de la cubierta vegetal sirve de alimento a los microorganismos (Julca *et al.*, 2006). La biota edáfica es esencial para la fertilidad, estabilidad y buen funcionamiento del suelo ya que esta permite la mineralización e inmovilización de la materia orgánica del suelo. La diversidad de los precursores orgánicos y la cantidad de factores y condiciones que intervienen en el proceso dan lugar a que no se llegue a una única estructura molecular, sino a distintas estructuras macromoleculares (Labrador, 2001).

Este fenómeno limita las concentraciones de N disponibles para las plantas, pero constituye una fuente de mineralización rápida en los ciclos de rehumedecido del suelo. Esto indica que los microorganismos absorben formas de N y otros elementos nutrimentales bajo condiciones ambientales adversas y los liberan con la llegada de condiciones óptimas (Gallardo *et al.*, 2009).

### **Propiedades químicas**

Los grupos funcionales carboxílicos y fenólicos de los compuestos húmicos les aporta una carga negativa, lo que favorece la CIC; le confiere al suelo un poder amortiguador que evita las variaciones de pH lo que favorece la acción de los fertilizantes y facilita su absorción a través de la membrana celular de los pelos radiculares (Julca *et al.*, 2006).

### **En fertilidad del suelo**

Se entiende por fertilidad del suelo como la capacidad de los suelos agrícolas para mantener de manera perdurable un nivel de producción estable y de calidad, conservando un estado de alta estabilidad frente a los procesos que implican su degradación, y todo ello dentro de una amplia gama de condiciones locales agroambientales, socioeconómicas y culturales (Labrador, 2001).

La materia orgánica fresca, añadida al suelo, da origen al humus joven que se descompone rápidamente para dar lugar al humus estable. De aquí la importancia de mantener en el suelo una cantidad de materia orgánica adecuada para conservar la fertilidad. De hecho, la fertilidad del suelo no está determinada sólo por el contenido de materia orgánica, sino también por la variabilidad biológica del mismo (Labrador, 2001).

### **En aporte de nutrimentos**

#### ***Nitrógeno***

El N potencialmente mineralizable es la máxima cantidad de N que puede ser liberado de un material orgánico después de su descomposición por acción de los microorganismos. La tasa de mineralización de N es la velocidad o grado de mineralización y se interpreta como el porcentaje de N que se mineraliza, lo que permite conocer cuánto N está siendo liberado en forma disponible para la planta



en un periodo de tiempo determinado (Figueroa *et al.*, 2012); a medida que el  $\text{NH}_4^+$  se oxida, el  $\text{NO}_3^-$  se incrementa (Velasco *et al.*, 2004).

La descomposición de los tejidos vegetales y la liberación y mineralización de N frecuentemente muestran una fase inicial rápida. En incubación de materia orgánica, la mineralización del nitrógeno es más rápida en las dos primeras semanas debido a que en este periodo se produce la descomposición de azúcares, proteínas y celulosas (Figueroa *et al.*, 2012).

### **Fósforo**

Los ácidos húmicos se unen con los aniones fosfato y forma complejos fosfo-húmicos, los cuales mantienen al fósforo en estado asimilable para las plantas al impedir la precipitación en medio ácido en formas de fosfato de hierro y aluminio y la formación de fosfatos de calcio en medio básico (Labrador, 2001).

### **Potasio**

La materia orgánica reduce la fijación de potasio por las arcillas al aportar puntos de absorción reversibles, relacionados con la CIC (Labrador, 2001).

### **Microelementos**

Influye tanto en la concentración como en la disponibilidad/asimilabilidad. Dicho de otra forma, se refiere a la capacidad que tienen los compuestos orgánicos para formar quelatos con los nutrimentos metálicos, lo que les permite una mayor libertad de movimiento en el suelo (Labrador, 2001).

Tanto la materia orgánica como la biomasa microbiana pueden ser un indicador aproximado de la variación de la mineralización en suelos con distintos historiales de ingreso de residuos. Sirva como ejemplo el N, donde la materia orgánica estaría

dando cuenta de la mineralización del N estabilizado, y la biomasa microbiana del N lábil (Pinochet *et al.*, 2000).

### **Cuantificación de la materia orgánica y su aporte nutrimental**

El estudio de la complejidad de los componentes orgánicos se puede llevar a cabo desde la base de numerosos métodos y técnicas de campo, observaciones microscópicas, análisis químicos, análisis degradativos, técnicas no destructivas, extracción con gases en estado supercrítico y cromatografía (Labrador, 2001).

Mediante los estudios de campo se observa la materia orgánica *in situ*, ya sea a simple vista o con lupa en el mismo perfil o en muestras fragmentadas. La visualización de los distintos horizontes, los tipos ecológicos de humus, la evolución de esta materia orgánica (el olor y el color) y del entorno mineral más próximo, la cuantificación de la actividad de la fauna edáfica, entre otras, informan de inmediato del estado del suelo (Labrador, 2001).

La cuantificación de la materia orgánica por análisis químicos se lleva a cabo a través de la determinación del C-orgánico, el cual es determinado por métodos como el de Walkey-Black y el de Anne. El fundamento es que la materia orgánica contiene 58% de C orgánico. Análisis químicos posteriores permiten determinar el contenido de macro y microelementos (Labrador, 2001).

Las incubaciones en laboratorio muestran el potencial máximo de mineralización al contar con humedad adicional y temperatura constante. Las determinaciones *in situ* buscan que las condiciones de incubación sean más cercanas a las que tiene el suelo en fluctuación de temperatura, humedad y aireación (Celaya y Castellanos, 2011). No obstante, tanto las incubaciones como las determinaciones *in situ*, presentan desventajas, debido principalmente, a que ambas requieren la acción directa de los microorganismos, al intentar proveer el ambiente favorable para su

desarrollo, los resultados podrían estar siendo sub o sobre estimados; además, no están ajustados al ciclo del cultivo.

El proceso de transformación mayormente estudiado es la mineralización del nitrógeno. En suelos sometidos a condiciones alternas de períodos seco y húmedo la mineralización se duplica en relación a cuando los suelos están sometidos a condiciones de humedad constante. Se ha encontrado un óptimo de 35° C para la nitrificación y 50° para la amonificación (Martín y Rivera, 2004).

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Proponer un extractante que permita conocer el aporte nutrimental a corto plazo de los componentes lábiles de compostas para poder establecer dosis de fertilización con estas, y comprobar la efectividad de este con la extracción de cultivos de alta demanda nutrimental.

### **Objetivos específicos**

1.- Evaluar el aporte nutrimental de N, P y K de la fracción lábil de compostas, en función de su origen y de la concentración de ácido sulfúrico como extractante.

2.- Determinar el aporte nutrimental de tres compostas de diferente calidad mediante una solución extractante a base de concentraciones de ácido sulfúrico al 2, 4 y 8 % y comprobar el aporte de estas compostas mediante la extracción nutrimental a corto plazo (desde el establecimiento del cultivo hasta los 2 meses) de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y el elemento benéfico sodio del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.).

3.- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de fósforo en solución nutritiva, en la producción de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L. 'Zapata') y chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq. 'Big Brother').

## **Hipótesis**

### **Hipótesis general**

Al menos una concentración de solución extractante a base de ácido sulfúrico permitirá calcular el aporte nutrimental de compostas para poder usarlas en dosis de fertilización.

### **Hipótesis específicas**

1.- Las concentraciones de ácido sulfúrico utilizadas como extractantes permitirán diferenciar el aporte nutrimental de residuos orgánicos y compostas con base en sus componentes lábiles.

2.- Al menos una concentración de ácido sulfúrico funcionará como extractante de macronutrientes de la fracción lábil de compostas de diferente material de origen; asimismo, esta extracción corresponderá a la extracción nutrimental de estos macronutrientes en el cultivo de pepino.

3.- La acumulación nutrimental de cultivos fertilizados con fertilizantes químicos presentarán contenidos nutrimentales similares a los fertilizados con compostas.

## Literatura citada

- Acosta, Y., Cayama, J., Gómez, E., Reyes, N., Rojas, D., & García, H. (2006). Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 6(3), 220–227.
- Álvarez-Sánchez E., Vázquez-Alarcón A., Castellanos J. Z. y Cueto-Wong J. (2006). Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo. *Terra Latinoamericana*. Vol. 24 No. 2.
- Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *TERRA Latinoamericana*, 29(3), 343–356.
- Espinoza, Y., Gil, J. L., Obispo, N. E., Malpica, L., & Mujica, M. de J. (2012). Capacidad suplidora de nitrógeno del suelo y la producción de biomasa de *Urochloa humidicola* fertilizada con estiércol bovino y gallinaza. *Rev. Fac. Agron.*, 38(3), 98–105.
- Espinoza, Y., Hernández Z, M. J., Barrera CH, T. V., & Obispo, N. E. (2009). Efecto de la alimentación animal sobre la calidad microbiológica de estiércoles usados como fertilizantes. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 151–161.
- Félix-Herrán, J. A., Serrato-Flores, R., Armenta-Bojorquez, A. D., Rodríguez-Quiroz, G., Martínez-Ruiz, R., Azpiroz-Rivero, H. S., & Olalde-Portugal, V. (2010). Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. *Revista Ra Ximhai*, 6(1), 105–113.
- Figuroa-Barrera, A., Álvarez-Herrera, J. G., Forero, A. F., Salamanca, C., & Pinzón, L. P. (2012). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. *Temas Agrarios*, 17(1), 32–43.
- Flores Márgez, J. P., Valero Córdoba, C., Osuna Ávila, P., Corral Díaz, B., Shukla, M. K., & Salazar Sosa, E. (2013). Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo de estiércol bovino. *TERRA Latinoamericana*, 31(3), 211–220.

- Gallardo, A., Covelo, F., Morillas, L., & Delgado, M. (2009). Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas*, 18(2), 4–19.
- Hernández-Mendoza, T. M., Salcedo-Pérez, E., Arévalo-Galarza, G., & Galvis-Spinola, A. (2007). Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 13(1), 5–13.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA*, 24(1), 49–61.
- Labrador M. J. (2001). *La Materia Orgánica en los Agrosistemas*. 2ª. Ed. Mundi-Prensa. España. 293 p.
- Lamas N. M. A., Neri F. O. Sánchez R. G. (2003). *Agricultura Orgánica. Una oportunidad sustentable de negocios para el sector agroalimentario mexicano*. FIRA Boletín Informativo. No. 322 Vol. XXXV.
- León-Nájera, J. A., Gómez-Álvarez, R., Hernández-Daumás, S., Álvarez-Solis, J. D., & Palma-López, D. J. (2006). Mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos en los altos de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia*, 22(2), 163–174.
- Martín, G. M., & Rivera, R. (2004). Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cultivos Tropicales*, 25(3), 89–96.
- Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y Composta de Estiércol de Ganado Vacuno Lechero Como Fertilizantes y Mejoradores del Suelo. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 27–37.
- Pino, A. del, Repetto, C., Mori, C., & Perdomo, C. (2008). Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 43–52.

- Pinochet, D., Mendoza, J., & Galvis, A. (2000). Potencial de mineralización de nitrógeno de un hapludand con distintos manejos agrícolas. *Ciencia e Investigación Agraria*, 27(2), 97–106.
- Salgado G. S., Nuñez E. R. y Palma L. D. (2010). Los abonos orgánicos. En: *Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos*. Colegio de Posgraduados, México. pp. 115-132.
- Rubenacker, A., Campitelli, P., Sereno, R., & Ceppi, S. (2011). Recuperación química de un suelo degradado mediante la utilización de un vermicosposto. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 2(2), 83–95.
- Velasco-Velasco, J., Figueroa-Sandoval, B., Ferrera-Cerrato, R., Trinidad-Santos, A., & Gallegos-Sánchez, J. (2004). CO<sub>2</sub> y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *TERRA Latinoamericana*, 22(3), 307–316.

## CAPITULO II

### **Aporte de N, P y K de la fracción lábil de compostas en función de su origen y de la concentración de ácido sulfúrico como extractante**

#### **Resumen**

La agricultura sustentable conlleva el aporte de residuos orgánicos al suelo. La composta es el mejor residuo orgánico debido a su bioestabilidad provocada por el proceso de formación al que es sometida. El objetivo fue evaluar el aporte nutrimental de N, P y K de la fracción lábil de compostas, en función de su origen y de la concentración de ácido sulfúrico como extractante. Se realizaron dos experimentos; en el primero, se usaron concentraciones de ácido sulfúrico (0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 y 32.0 %) como solución extractante, para cuantificar la fracción lábil de dos residuos orgánicos de los cuales se conoce su resistencia a la biodegradación. En el segundo experimento, se utilizaron tres compostas (rastroy de maíz y gallinaza; hojarasca, pasto de jardín y gallinaza; y estiércol de vaca y gallinaza) en las cuales se aplicaron las mismas concentraciones del extractante, esto con el fin de corroborar los resultados del primer experimento. Las concentraciones de ácido sulfúrico empleadas extrajeron los nutrimentos N, P y K en función al tipo de residuo utilizado. Se comprobó la efectividad de las concentraciones de ácido sulfúrico para extraer los elementos P y K de compostas contrastantes en su material de origen; asimismo, las concentraciones de ácido sulfúrico a 2, 4 y 8 % resultaron extractantes adecuados de la fracción lábil de compostas.

**Palabras clave:** aporte nutrimental de compostas, fracción lábil de compostas, solución extractante.



## **Summary**

Sustainable agriculture brings the contribution of organic waste to the soil. Compost is the best organic residue due to its biostability caused by the formation process to which it is subjected. The objective was to evaluate the contribution of N, P y K of the labile fraction of composts, depending on their origin and the concentration of sulfuric acid as extractant. Two experiments were performed; in the first one, concentrations of sulfuric acid (0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 and 32.0%) were used as the extracting solution to quantify the labile fraction of two organic residues of which its resistance to a known biodegradation. In the second experiment, three composts were used (corn and chicken manure; leaf litter, garden grass and chicken manure, and cow manure and chicken manure) in which the same concentrations of the extracting were applied, to corroborate the results of the first experiment. The concentrations of sulfuric acid used extracted nutrients N, P and K according to the type of residue used. The effectiveness of sulfuric acid concentrations was checked to extract the P and K elements of contrasting composts in their source material; likewise, the sulfuric acid concentrations at 2, 4 and 8 % were suitable extracting of the labile fraction of composts.

**Key words:** Nutritional contribution of composts, labile fraction of composts, extract solution.

## Introducción

La agricultura sustentable implica la aplicación de residuos orgánicos al suelo lo cual ayuda a recuperar su fertilidad natural (Dutra *et al.*, 2012). Un indicador de la fertilidad natural del suelo es la materia orgánica (MO) debido a que la cantidad contenida en el mismo modifica sus propiedades químicas, físicas y biológicas. La principal forma de cuantificar la MO es a través de carbono orgánico, el cual se divide en carbono orgánico estabilizado y carbono orgánico lábil. Se ha observado que, de estos, el carbono orgánico lábil está mayormente relacionado con el aporte nutrimental (Haynes, 2005).

El aporte nutrimental (AN) de las compostas está directamente relacionado con la calidad de los materiales que la originan (Antil *et al.*, 2011). Esta calidad es usualmente medida con la relación carbono nitrógeno (C/N) y más recientemente, con el contenido de lignina de los materiales que originan la composta (Hernández *et al.*, 2007). Se ha propuesto que una relación C/N menor a 20 indica un contenido elevado de fracción lábil en la composta (Isaza *et al.*, 2009), lo que significa que es fácilmente biodegradable; por otro lado, una relación C/N mayor a 20 indica alto contenido de fracción resistente al proceso de biodegradación microbiana (Julca *et al.*, 2006; Castro *et al.*, 2009). Esto se debe a que la fracción lábil está constituida principalmente por compuestos orgánicos fácilmente asimilables para los microorganismos (Lashermes *et al.*, 2009), mientras que la fracción resistente está constituida a base de compuestos de alto peso molecular que presentan mayor resistencia a la acción de los microorganismos. En general, los residuos de las plantas de la familia de las leguminosas poseen relación C/N baja; por el contrario, los cereales presentan una alta relación C/N (Félix *et al.*, 2010; Gallardo *et al.*, 2009). Es por eso que las leguminosas tienen un mayor contenido de nutrientes que se mineralizan a corto plazo, en comparación con los cereales.

En este contexto, mediante incubaciones en laboratorio es posible observar el potencial máximo de mineralización de compostas (Boechat *et al.*, 2013); mientras

que las determinaciones *in situ* buscan que las condiciones de incubación sean más cercanas a las condiciones en que se desarrolla este proceso en el ambiente (Celaya y Castellanos, 2011). Estos métodos de incubación están clasificados dentro de un grupo denominado métodos biológicos (Acosta *et al.*, 2006; Figueroa *et al.*, 2012). Otro grupo clasificado como métodos químicos (Antil *et al.*, 2011), se caracteriza por utilizar reactivos a base de ácidos que sustituyen a los microorganismos en el proceso de mineralización de los residuos orgánicos. En este sentido, el ácido sulfúrico es uno de los reactivos utilizado en los métodos químicos debido a su alta capacidad de mineralizar moléculas orgánicas.

Se ha reportado que la cuantificación de la mineralización *in situ* se ve alterada por factores no controlados, lo que resulta en que las observaciones no sean un reflejo de la mineralización real de los residuos orgánicos utilizados (De Paula *et al.*, 2013). Es notorio que los métodos químicos se han enfocado en cuantificar el carbono orgánico y el nitrógeno total de la MO del suelo sin diferenciar la fracción lábil (Haynes, 2005); esto implica que, los métodos que se han utilizado para cuantificar el AN de las compostas cuantifican el contenido nutrimental tanto de la fracción lábil como de la fracción resistente, sin diferenciar uno del otro. Es por eso por lo que los sistemas de producción actuales requieren un método que permita cuantificar el AN de las compostas que se encuentra rápidamente disponible de tal forma que se pueda precisar la dosis de nutrimentos de alta demanda como son el nitrógeno, fósforo y potasio. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el aporte de N, P y K de la fracción lábil de compostas con base en rastrojos de maíz y lechuga, en función de su origen y de la concentración de ácido sulfúrico como extractante.

## **Materiales y métodos**

**Primer experimento.** Se prepararon dos residuos orgánicos, uno de materiales resistentes a la degradación microbiológica (rastrojo de maíz) y otro de materiales lábiles (lechuga). Estos se secaron en una estufa de desecación a una temperatura constante (70 °C) y se trituraron con un molino manual. Se pesó 1 g de cada residuo

(rastrajo de maíz y lechuga) y una mezcla en proporción 1:1; se colocaron en frascos de agitación de 50 mL; a cada frasco se les agregó diluciones de ácido sulfúrico (0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 y 32.0 %); se agitaron por 15 minutos; en seguida se centrifugaron a 2000 rpm durante dos minutos; se decantó el sobrenadante y de este, se cuantificó el contenido nutrimental de N, P y K extraído de cada tipo de residuos y de la mezcla 1:1 de los mismos. Se determinó la concentración de N por el método micro Kjeldahl; P con el método de amarillo de vanadato-molibdato y K por flamometria (Alcantar y Sandoval, 1999).

El diseño experimental del primer experimento fue un completamente al azar con arreglo factorial de dos factores, los cuales fueron: A, concentración de ácido sulfúrico y, residuos; teniendo un total de 21 tratamientos con tres repeticiones (poder > 0.90 con  $\alpha = 0.05$ ).

**Segundo experimento.** En complemento al primer experimento, se realizó un segundo experimento en el cual se utilizaron las mismas concentraciones de ácido sulfúrico. La diferencia estribó en que se utilizaron tres compostas elaboradas con: rastrojo de maíz con gallinaza, hojarasca con pasto de jardín y gallinaza y la tercera con estiércol de vaca y gallinaza. Se realizó un arreglo factorial 7x3 bajo un diseño experimental de bloques completos al azar.

**Análisis estadístico.** Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias (Tukey, 0.05) para ambos experimentos y una prueba de contrastes ortogonales para el segundo experimento. Se utilizó el software estadístico Statistica 13 (Dell Inc. 1985-2015).

## **Resultados y discusión**

En el análisis de varianza del primer experimento, se presentaron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre los residuos utilizados, pero no en las concentraciones del extractante;

además, no se presentó interacción entre los factores concentración y residuo (Cuadro 1). Esto sugiere que la solución extractante permitió diferenciar los componentes lábiles de los residuos evaluados, lo cual se corrobora en la prueba de medias, donde se observa que el residuo lábil presentó el mayor aporte de N, P y K (Cuadro 2).

Cuadro 1. Análisis de varianza de los residuos resistentes y lábiles.

<b>Variable</b>	<b>Fuente de variación</b>	<b>Pr&gt; F</b>	<b>R2</b>	<b>Poder (alfa=0.05)</b>
N total	Modelo	0.0001**	0.54	0.69
	Residuo	0.02*		
P total	Modelo	0.0001**	0.85	1.00
	Residuo	0.0001**		
K total	Modelo	0.0001**	0.97	1.00
	Residuo	0.0001**		
N	Modelo	0.0001**	0.92	0.40
	Concentración	0.39 ns		
	Residuo	0.0001**		
	Concentración*	0.68 ns		
P	Modelo	0.0001**	0.85	0.23
	Concentración	0.68 ns		
	Residuo	0.0001**		
	Concentración*	0.66 ns		
K	Modelo	0.0001**	0.83	0.16
	Concentración	0.86 ns		
	Residuo	0.0001**		
	Concentración*	0.76 ns		
	Residuo			0.32

\*\*= diferencia estadística altamente significativa; \*= diferencia estadística significativa; ns= sin diferencia estadística.

Cuadro 2. Prueba de medias para las variables del factor residuos.

Nivel de factor	N total (%)	N extraído (ppm)	P total (%)	P extraído (ppm)	K total (%)	K extraído (ppm)
L	0.84 a*	486.00 a	0.37 a	5364.80 a	4.74 a	29,489.00 a
RL	0.70 ab	214.67 b	0.16 b	3152.70 b	3.22 b	9,948.00 b
R	0.18 bc	44.00 c	0.09 b	660.10 c	0.78 c	6,062.00 c

\*Letras iguales en las medias del nivel del factor indican igualdad estadística (Tukey, 0.05); L= residuo lábil; RL= mezcla de residuo lábil y resistente; R= residuo resistente.

Los resultados del contenido total de N, P y K de los residuos elegidos por su resistencia a la biodegradación, es un factor determinante al seleccionarlos para elaborar compostas, pues de esto dependerá el aporte nutrimental para el cultivo. Al respecto, Hernández *et al.* (2016) observaron diferencias significativas hasta el segundo ciclo de producción en *Lactuca sativa* cultivada con compostas a base de mezcla de estiércol de oveja y cabra, y de lodos de aguas residuales y aserrín. Estas diferencias se reflejaron tanto en la calidad del cultivo como en el mejoramiento de las propiedades físicas y biológicas del suelo (Rubenacker *et al.*, 2011).

El análisis de varianza del segundo experimento indicó diferencias ( $P \leq 0.01$ ) para los factores extractante y composta. No hubo interacción entre los factores para las variables evaluadas y el efecto de bloqueo fue significativo ( $P \leq 0.05$ ) para N, P y K (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de los tratamientos con un arreglo factorial bajo un diseño en bloques completos al azar.

Factor	N	P	K
		Pr > F	
Extractante	0.6353 ns	0.0001**	0.0001**
Composta	0.1665 ns	0.0019**	0.0001**
Extractante*Composta	0.2813 ns	0.8319 ns	0.184 ns
Bloque	0.0001**	0.0006**	0.020*
R2	0.61	0.76	0.86
C.V.	22.89 %	12.91 %	10.17 %

\*= diferencia estadística significativa; \*\*= diferencia estadística altamente significativa; ns= sin diferencia estadística; C.V. = coeficiente de variación.

En el factor concentración de ácido sulfúrico, la mayor concentración presentó la menor extracción de fósforo y potasio (Cuadro 4). La composta que reportó la mayor concentración de P y K fue la de estiércol de vaca con gallinaza, mientras que para N no hubo diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ).

Cuadro 4. Prueba de medias de las variables que presentaron diferencia estadística por efecto de los tratamientos.

Factor	Niveles	Variables (mg kg <sup>-1</sup> )		
		N	P	K
Concentración de extractante (%)	0.5	684.4 a	23,074 b*	7,878 a
	1.0	606.7 a	28,217 a	8,359 a
	2.0	591.1 a	26,764 ab	8,470 a
	4.0	497.8 a	27,609 ab	8,470 a
	8.0	443.3 a	28,106 a	8,899 a
	16.0	505.6 a	26,764 ab	8,745 a
	32.0	622.2 a	16,780 c	6,497 b
Compostas	Rastrojo de maíz y gallinaza	663.3 a	24,766 b	6,357 c
	Hojarasca, pasto de jardín y gallinaza	490.0 a	23,781 b	8,707 b
	Estiércol de vaca y gallinaza	540.0 a	27,518 a	9,501 a

\*Letras iguales entre columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

La prueba de medias resultó insuficiente para tomar una decisión respecto a la elección de una concentración de ácido sulfúrico como propuesta de solución extractante. Por lo tanto, se realizó una prueba de contrastes ortogonales con el fin analizar grupos de medias que permitan definir una o un grupo de concentraciones (Cuadro 5). Para el primer contraste, se compararon los tratamientos correspondientes a la composta de rastrojo de maíz y gallinaza contra la composta de hojarasca, pasto de jardín y gallinaza; en el segundo contraste, los tratamientos de la composta de rastrojo de maíz y gallinaza contra la composta de estiércol de vaca y gallinaza; en el tercer contraste, los tratamientos de la composta de hojarasca, pasto de jardín y gallinaza contra composta de estiércol de vaca y gallinaza; el cuarto contraste, se probaron los tratamientos que contenían las concentraciones bajas de ácido sulfúrico contra los tratamientos que contenían las concentraciones altas del ácido.

Cuadro 5. Contrastes ortogonales entre grupo de tratamientos con concentraciones de ácido sulfúrico y residuo similares entre ellos.

<b>Contrastes ortogonales</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
1: T1...T7 = T8...T14	0.180 ns	0.411 ns	0.000**
2: T1...T7 = T15...T21	0.337 ns	0.025*	0.000**
3: T8...T14 = T15...T21	0.696 ns	0.003**	0.006**
4: T1...T5, T8...T12, T15...T19 = T6, T7, T14, T15, T20, T21	0.994 ns	0.000**	0.001**

\*= Pr > F con diferencia significativa; \*\*= Pr > F con diferencia altamente significativa;

ns= Pr > F sin diferencia significativa.

Con estos resultados, se comprobó la eficiencia de las concentraciones del extractante en la diferenciación de los componentes lábiles de las compostas; sin embargo, esto sólo se observó para P y K, por lo que es recomendable validar lo señalado mediante pruebas de campo, en la que se compare la extracción de P y K en un cultivo de importancia comercial, de esta manera, se tendría mayor certidumbre al proponer una concentración del extractante para cuantificar el AN de la fracción lábil de compostas, ya que como lo señalan Grigatti *et al.* (2012), la cantidad de N que extraen las plantas, no está estrictamente relacionada con el contenido total.

## **Conclusiones**

Las concentraciones de ácido sulfúrico empleadas extrajeron N, P y K en función al tipo de residuo utilizado. No obstante, las concentraciones de este ácido sulfúrico fueron efectivas al extraer los elementos P y K de compostas contrastantes en su material de origen; asimismo, las concentraciones de ácido sulfúrico a 2, 4 y 8 % resultaron extractantes adecuados de la fracción lábil de compostas.

La composta con mezcla de estiércol de vaca y gallinaza aportó la mayor concentración de P y K, con 27,518 y 9,501 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente; mientras que



para N no hubo diferencias entre las compostas evaluadas, pero su aporte osciló entre 490.0 y 663.3 mg kg<sup>-1</sup>.

### **Literatura citada**

- Acosta, Y., Cayama, J., Gómez, E., Reyes, N., Rojas, D., & García, H. (2006). Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 6(3), 220–227.
- Antil, R. S., Bar-Tal, A., Fine, P., & Hadas, A. (2011). Predicting Nitrogen and Carbon Mineralization of Composted Manure and Sewage Sludge in Soil. *Compost Science & Utilization*, 19(1), 33–43. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10-736974>
- Boechat, C. L., Gonzaga-Santos, J. A., de Aguiar-Accioly, A. M. (2013). Net mineralization nitrogen and soil chemical changes with application of organic wastes with “Fermented Bokashi Compost” *Acta Scientiarum. Agronomy*, 35(2): 257–264
- Castro, A., Henríquez, C., & Bertsch, F. (2009). Capacidad de suministros de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 31–43.
- Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *TERRA Latinoamericana*, 29(3), 343–356.
- de Paula, J. R., Teixeira de Matos, A., Pimentel de Matos, M., dos Santos Pereira, M., & Alberto, de A. C. (2013). Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados ao solo em campo. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 37(6), 1729–1741.
- Dutra, E. D., Menezes, R. S. C., Primo, D. C. (2012). Aproveitamento do biomassa residual agrícola para produção de compostos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciencias Agrárias*, 7(3), 465–472
- Félix-Herrán, J. A., Serrato-Flores, R., Armenta-Bojorquez, A. D., Rodríguez-Quiroz, G., Martínez-Ruiz, R., Azpiroz-Rivero, H. S., & Olalde-Portugal, V. (2010). Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. *Revista Ra Ximhai*, 6(1), 105–113.

- Figuroa-Barrera, A., Álvarez-Herrera, J. G., Forero, A. F., Salamanca, C., & Pinzón, L. P. (2012). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. *Temas Agrarios*, 17(1), 32–43.
- Gallardo, A., Covelo, F., Morillas, L., & Delgado, M. (2009). Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas*, 18(2), 4–19.
- Grigatti, M., Giorgioni, M. E., Pilotti, S., Ciavatta, C. (2012). Stability, nitrogen mineralization capacity and agronomic value composto-based growing media for lettuce cultivation. *Journal of Plant Nutrition*, 35: 704–725
- Haynes, R. J. (2005). Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An Overview. *Advances in Agronomy*, 85: 221–268.
- Hernández-Mendoza, T. M., Salcedo-Pérez, E., Arévalo-Galarza, G., & Galvis-Spinola, A. (2007). Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 13(1), 5–13.
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J. L., & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops — Effects on soil and plant. *Soil & Tillage Research*, 160, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.005>
- Inzunza-Ibarra, M. A., Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E. A., & Román-López, A. (2010). Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 211–218.
- Isaza-Arias, G., Pérez-Méndez, M., Laines-Canepa, J., & Castañon-Nágera, G. (2009). Comparación de Dos Técnicas de Aireación en la Degradación de la Materia Orgánica. *Universidad y Ciencia*, 25(3), 233–243.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA*, 24(1), 49–61.

Lashermes, G., Nicolardot, B., Parnaudeau, V., Thuries, L., Chaussod, R., Guillotin, M. L., ... Houot, S. (2009). Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application. *European Journal of Soil Science*, 60, 297–310 doi: 10.1111/j.1365–2389.2008.01110.x. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01110.x>

## CAPÍTULO III

### Cuantificación del aporte nutrimental a corto plazo de compostas

#### Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar el aporte nutrimental de tres compostas de diferente calidad mediante una solución extractante a base de ácido sulfúrico al 2, 4 y 8 % y comprobar el aporte de estas compostas mediante la extracción nutrimental a corto plazo (desde el establecimiento del cultivo hasta los 2 meses) de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y el elemento benéfico sodio del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). El experimento se estableció con un arreglo factorial 3x3 bajo un diseño de bloques completos al azar. Los resultados apoyados en los métodos estadísticos multivariados de componentes principales y clúster permitieron concluir que la solución extractante de ácido sulfúrico al 2 % ayudó a cuantificar el aporte nutrimental a corto plazo de compostas de materiales de origen contrastantes en sus componentes.

**Palabras clave:** *Cucumis sativus*, análisis multivariado, compostas, agricultura sustentable.

#### Summary

The objective was to determine the nutritional contribution of three composts of different quality by means of an extractant solution based on sulfuric acid concentrations at 2, 4 and 8 % and to verify the contribution of these concentrations by short-term nutritional extraction (from the establishment of the culture until 2 months) of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and the beneficial element sodium of the cultivation of cucumber (*Cucumis sativus* L.). A 3x3 factorial arrangement was established under a randomized complete block design. The results, supported by the multivariate statistical methods of the main components and cluster, allowed us to conclude that the 2 % sulfuric acid extractant solution

helped to quantify the short-term nutritional contribution of composts of contrasting source materials in their components.

**Key words:** *Cucumis sativus*, multivariate analysis, compost, sustainable agriculture.

## **Introducción**

Las actividades de la agricultura convencional han reducido la capacidad de los suelos para producir alimentos sanos e inocuos (Baldemar *et al.*, 2017). El principal daño ocasionado por las prácticas culturales es la oxidación de la materia orgánica y con ello, los daños físicos, químicos y orgánicos que repercuten en la reducción de la fertilidad natural de los suelos (Salcedo *et al.*, 2007).

Una de esas prácticas culturales ha sido, ya por varias décadas, la aplicación de sales inorgánicas (salvo la urea) denominadas fertilizantes. El principal problema de usar únicamente estas fuentes de nutrimentos para los cultivos, radica no solo en los altos costos para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos, sino en la alta dependencia que estos generan para llegar a la meta final, la cosecha (Hernández *et al.*, 2016).

Debido a que los suelos en general presentan una tendencia a reducir la oferta de los nutrimentos, la dosis de fertilización aumenta (Maldonado *et al.*, 2008; Rodas *et al.*, 2012). Una alternativa para conocer la cantidad precisa que se debe aplicar para llegar a una meta de rendimiento con la mínima inversión, es conocer la cantidad del nutrimento que el suelo aporta mediante un diagnóstico nutrimental del suelo en el que se establecerá algún cultivo (Nieves *et al.*, 2017).

Aunado a esos métodos, se han establecido otros que cuantifican el aporte nutrimental de la materia orgánica (Hernández *et al.*, 2007). No obstante, estos se han enfocado en predecir el aporte nutrimental a largo plazo (Sainz *et al.*, 2012), lo que genera una desventaja con relación a los fertilizantes, los cuales pueden estar disponibles a pocos días de haber sido aplicados.

Por otro lado, los residuos orgánicos tienen la capacidad de aportar a corto plazo nutrimentos y macromoléculas benéficas para los cultivos (Hernández *et al.*, 2013). Entre estos, las compostas presentan la cualidad de ser estables e inocuas (Bohórquez *et al.*, 2014) debido al proceso en el cual intervienen diferentes tipos de microorganismos los cuales desintegran las moléculas de bajo peso molecular para dar origen a los componentes de la materia orgánica estabilizada (Celaya & Castellanos 2011; Riera *et al.*, 2014). Debido a la naturaleza de estos componentes, el ácido sulfúrico resulta ser un extractante ideal para este tipo de residuos (de Paula *et al.*, 2013).

Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue determinar el aporte nutrimental de tres compostas de diferente calidad mediante una solución extractante a base de 3 concentraciones de ácido sulfúrico y comprobar el aporte de estas concentraciones mediante la extracción nutrimental a corto plazo de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y el elemento benéfico sodio del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.).

## **Materiales y métodos**

### **Elaboración de las compostas**

Se utilizaron tres compostas elaboradas con los siguientes materiales: la primera, de rastrojo de maíz con gallinaza; la segunda, de hojarasca con pasto de jardín y gallinaza; la tercera, de estiércol de vaca y gallinaza. La antigüedad de las compostas para cuando fueron utilizadas fue de 1 año.

## **Establecimiento del cultivo y diseño experimental**

Las semillas de pepino se sembraron en charolas de 200 cavidades con una combinación de sustrato Peat moss® y composta de hojarasca con pasto de jardín a una proporción 1:1. Se trasplantaron a bolsas negras con 10 kg de composta cuando presentaron 2 hojas verdaderas. Una vez trasplantadas, se regaron cuidando que no hubiera un excedente de agua que lixiviara los componentes de las compostas.

Se estableció un arreglo factorial 3x3 (factor A, concentraciones de ácido sulfúrico; factor B, tipo de compostas) bajo un diseño experimental completamente al azar. El total de repeticiones (4) se determinó con ensayos para trabajar con un poder >0.90 con un alfa de 0.05.

Para cuantificar el aporte nutrimental de las compostas se realizó lo siguiente: Se pesó 1 g de cada composta; se colocaron en frascos de agitación de 50 mL; a cada frasco se les agregó 25 mL de diluciones de ácido sulfúrico (2.0, 4.0 y 8.0 %); se agitaron por 15 minutos; en seguida se centrifugaron a 2000 rpm durante dos minutos; se decantó el sobrenadante y de este, se cuantificó el contenido nutrimental de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y el elemento benéfico sodio extraídos de las compostas.

En cada muestreo destructivo se determinó el peso seco por planta y se cuantificó el contenido total de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en el tejido vegetal de pepino. El N se determinó por micro Kjeldhal, el P se determinó con el método de amarillo de vanadato-molibdato, el K y Na por flamometria y Ca y Mg por espectro de absorción atómica (Figuroa *et al.*, 2012; Olivares *et al.*, 2012).

## **Variables**

Las variables fueron: peso seco (Ps), gramos de pepino cosechado (Co), porcentaje de nitrógeno en tejido vegetal (% N), porcentaje de fósforo en tejido vegetal (% P), porcentaje de potasio en tejido vegetal (% K), porcentaje de calcio en tejido vegetal

(% Ca), porcentaje de magnesio en tejido vegetal (% Mg), porcentaje de sodio en tejido vegetal (% Na), gramos de nitrógeno extraídos por planta (g N pl), gramos de fósforo extraídos por planta (g P pl), gramos de potasio extraídos por planta (g K pl), gramos de calcio extraídos por planta (g Ca pl), gramos de magnesio extraídos por planta (g Mg pl), gramos de sodio extraídos por planta (g Na pl), contenido proteínas (g/100 g de tejido seco; CP), fósforo disponible (P d), potasio disponible (K d), calcio disponible (Ca d), magnesio disponible (Mg d), sodio disponible (Na d).

### **Análisis estadístico**

La cosecha se realizó en dos cortes considerando una densidad de 4 plantas m<sup>-2</sup>. Se correlacionó con el contenido de los nutrimentos con los extraídos de cada composta con la solución extractante. Para comprobar el efecto de la absorción nutrimental del cultivo con base en el origen de las compostas, se les realizó un análisis de varianza; con el fin de identificar una concentración de ácido sulfúrico que permitiera predecir el aporte nutrimental de las compostas evaluadas, se realizaron los análisis multivariados de componentes principales y clúster. Para este último, las variables que en el método de componentes principales resultaron ser las de mayor importancia en la varianza, se fragmentaron; con lo que se obtuvieron seis variables más de cada variable planteada para el diseño experimental bajo arreglo factorial. Con este arreglo, se sometieron al análisis multivariado clúster un total de 60 variables con nueve observaciones cada una.



## Resultados

Las variables % N, % Ca, g N p y CP no presentaron diferencia estadística (Cuadro 6). El resto de las variables, presentaron diferencia estadística en al menos uno de los factores y/o en la interacción de los factores.

Cuadro 6. Análisis de varianza para las variables del experimento de extracción de elementos nutrimentales disponibles en composta del cultivo de pepino.

Fuente	Ps	Co	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	% Na	g N pl	g P pl	g K pl	g Ca pl	g Mg pl	g Na pl	CP	P d	K d	Ca d	Mg d	Na d
Extrac.	0.00**	0.00**	0.91 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.36 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.02*	0.41 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	0.01*	0.07 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	0.03*	0.33 <sup>ns</sup>	0.00**	0.14 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>
Compost	0.00**	0.00**	0.54 <sup>ns</sup>	0.02*	0.01*	0.10 <sup>ns</sup>	0.00**	0.00**	0.41 <sup>ns</sup>	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.41 <sup>ns</sup>	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**
Extrac * Compos	0.00**	0.00**	0.13 <sup>ns</sup>	0.00**	0.99 <sup>ns</sup>	0.40 <sup>ns</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	0.00**	0.13 <sup>ns</sup>	0.00**	0.63 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.00**	0.13 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	0.00**	0.47 <sup>ns</sup>	0.73 <sup>ns</sup>
C.V.	Nd <sup>1</sup>	3.2	36.3	10.4	8.4	7.5	5.6	27.3	37.3	10.8	8.3	7.7	5.6	27.7	37.3	10.5	20.6	11.9	5.5	23.0
R <sup>2</sup>	0.99	0.9	0.34	0.65	0.44	0.40	0.67	0.84	0.39	0.83	0.85	0.82	0.92	0.86	0.39	0.85	0.88	0.89	0.89	0.88
Poder (alfa=0.05)	Nd	Nd	0.39	0.94	0.57	0.49	0.97	0.99	0.48	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.48	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

<sup>1</sup>nd= no determinado; <sup>ns</sup>= diferencia estadística no significativa; \*\*= diferencia estadística altamente significativa (p=0.01); Ps= peso seco; Co= gramos de pepino cosechado; % N= porcentaje de nitrógeno en tejido vegetal; % P= porcentaje de fósforo en tejido vegetal; % K= porcentaje de potasio en tejido vegetal; % Ca= porcentaje de calcio en tejido vegetal; % Mg= porcentaje de magnesio en tejido vegetal; % Na= porcentaje de sodio en tejido vegetal; g N pl= gramos de nitrógeno extraídos por planta; g P pl= gramos de fósforo extraídos por planta; g K pl= gramos de potasio extraídos por planta; g Ca pl= gramos de calcio extraídos por planta; g Mg pl= gramos de magnesio extraídos por planta; g Na pl= gramos de sodio extraídos por planta; CP= Contenido Proteínas (g/100 g de tejido seco); P d= fósforo disponible; K d= potasio disponible; Ca d= calcio disponible; Mg d= magnesio disponible; Na d= sodio disponible.

En la Cuadro 7 se presentan las correlaciones entre las variables analizadas. Entre estas, destacan las de gramos de pepino cosechado (Co), % K, g K pl, g Ca pl y g Mg pl, Mg d y Na d, las cual presentaron la mayor cantidad de correlaciones altamente significativas ( $p=0.01$ ,  $\pm 0.48$ ).

Cuadro 7. Matriz de correlaciones de Pearson de las variables del experimento de extracción de nutrimentos disponibles en composta del cultivo de pepino.

	Ps	Co	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	% Na	g N pl	g P pl	g K pl	g Ca pl	g Mg pl	g Na pl	CP	P d	K d	Ca d	Mg d	Na d	
Ps	1.00																				
Co	0.31	1.00																			
% N	-0.36	0.03	1.00																		
% P	0.28	0.28	-0.49**	1.00																	
% K	0.15	0.48**	-0.23	0.32	1.00																
% Ca	-0.12	0.20	-0.01	-0.02	0.45**	1.00															
% Mg	0.13	0.45**	0.17	-0.00	0.52**	0.74**	1.00														
% Na	-0.11	0.59**	-0.02	0.17	0.58**	0.50**	0.37	1.00													
g N pl	-0.23	0.32	0.96**	-0.39*	-0.09	0.03	0.29	0.15	1.00												
g P pl	0.42*	0.72**	-0.36	0.87**	0.48**	0.07	0.22	0.39*	-0.13	1.00											
g K pl	0.36	0.89**	-0.14	0.36	0.82**	0.34	0.55**	0.65**	0.11	0.72**	1.00										
g Ca pl	0.25	0.85**	-0.02	0.22	0.60**	0.67**	0.73**	0.68**	0.21	0.59**	0.85**	1.00									
g Mg pl	0.35	0.89**	0.07	0.20	0.58**	0.48**	0.79**	0.56**	0.33	0.61**	0.88**	0.94**	1.00								
g Na pl	-0.07	0.65**	-0.01	0.18	0.60**	0.49**	0.39*	0.99**	0.17	0.44*	0.70**	0.73**	0.61**	1.00							
CP	-0.23	0.31	0.96**	-0.39*	-0.09	0.03	0.29	0.15	1.00	-0.14	0.11	0.22	0.33	0.17	1.00						
P d	0.36	0.78**	0.06	0.24	0.56**	0.23	0.44*	0.63**	0.30	0.58**	0.79**	0.72**	0.75**	0.68**	0.30	1.00					
K d	0.24	0.81**	0.01	0.29	0.49**	0.18	0.20	0.58**	0.23	0.63**	0.76**	0.69**	0.64**	0.62**	0.23	0.72**	1.00				
Ca d	-0.21	0.71**	0.28	0.03	0.22	0.13	0.25	0.34	0.42*	0.37	0.53**	0.55**	0.56**	0.40*	0.42*	0.35	0.58**	1.00			
Mg d	0.29	0.92**	0.07	0.25	0.59**	0.25	0.49**	0.62**	0.32	0.66**	0.89**	0.82**	0.86**	0.68**	0.32	0.84**	0.81**	0.71	1.00		
Na d	0.26	0.83**	-0.06	0.40**	0.65**	0.31	0.43*	0.69**	0.18	0.70**	0.85**	0.78**	0.77**	0.73**	0.18	0.83**	0.85**	0.48**	0.86**	1.00	

\*=  $\pm 0.38$  (0.05); \*\*=  $\pm 0.48$  (0.01); Ps= peso seco; Co= gramos de pepino cosechado; % N= porcentaje de nitrógeno en tejido vegetal; % P= porcentaje de fósforo en tejido vegetal; % K= porcentaje de potasio en tejido vegetal; % Ca= porcentaje de calcio en tejido vegetal; % Mg= porcentaje de magnesio en tejido vegetal; % Na= porcentaje de sodio en tejido vegetal; g N pl= gramos de nitrógeno extraídos por planta; g P pl= gramos de fósforo extraídos por planta; g K pl= gramos de potasio extraídos por planta; g Ca pl= gramos de calcio extraídos por planta; g Mg pl= gramos de magnesio extraídos por planta; g Na pl= gramos de sodio extraídos por planta; CP= Contenido Proteínas (g/100 g de tejido seco); P d= fósforo disponible; K d= potasio disponible; Ca d= calcio disponible; Mg d= magnesio disponible; Na d= sodio disponible.

Se observa que con el componente principal 4 (Cuadro 8) se obtiene una varianza acumulada de 85.51, lo que representa un valor adecuado de varianza para interpretar los datos debido a que presenta un autovalor > 1.00 (Martínez *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Autovalores y varianza del experimento de extracción de nutrientes disponibles en compostas del cultivo de pepino mediante el análisis de componentes principales.

C P*	Autovalores	% varianza	% varianza acumulada
1	10.07	50.34	50.34
2	3.77	18.9	69.24
3	1.9	9.53	78.77
4	1.35	6.73	85.51
5	0.86	4.32	89.83
6	0.71	3.57	93.39

\*C P= componente principal

En la Cuadro 9 se presenta la correlación de las variables con cada componente principal. Se observa que en el componente principal 1 correlacionaron 14 de las 20 variables evaluadas. En el segundo componente, cuatro; en el tercer y cuarto componente correlacionó una variable en cada uno de ellos.

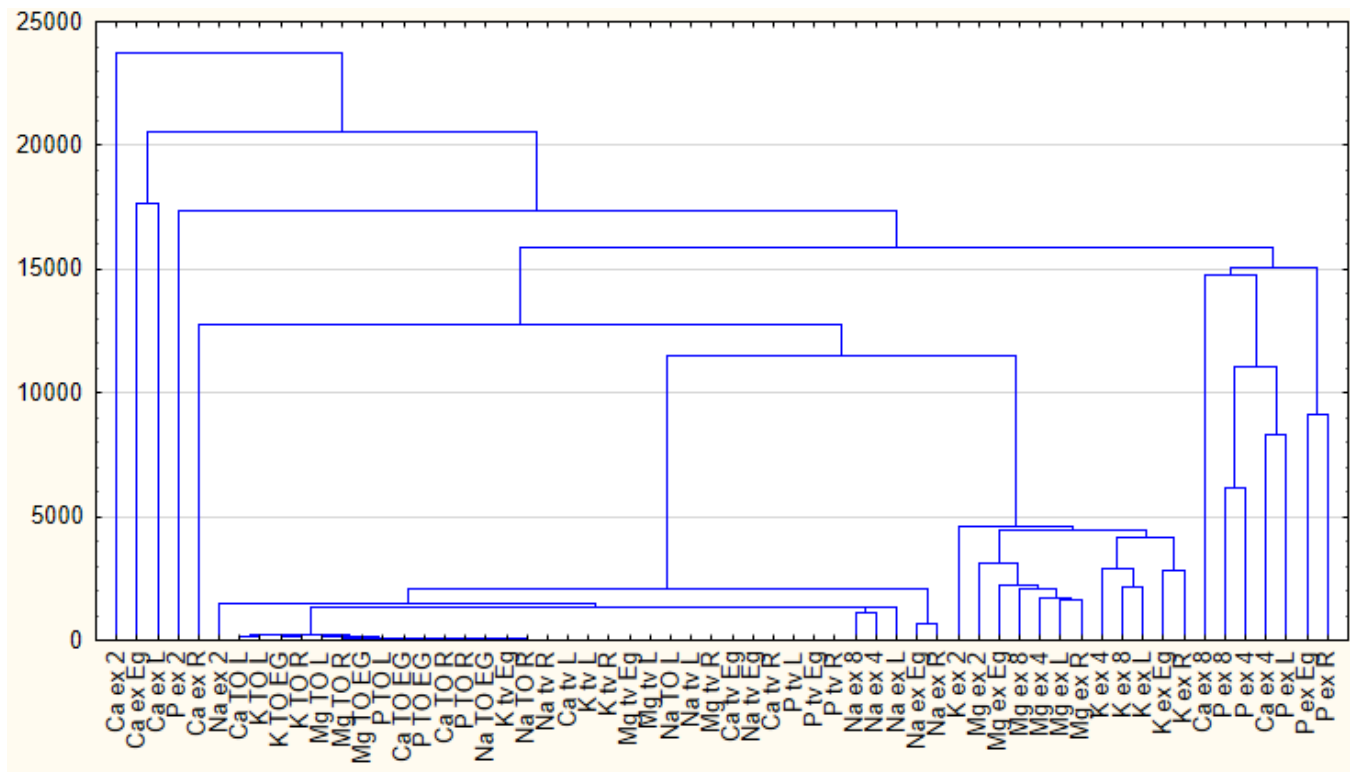
Cuadro 9. Correlaciones de las variables del experimento de extracción de nutrimentos del cultivo de pepino con los componentes principales que explican el 85.51 % de la variación total.

	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>CP 3</b>	<b>CP 4</b>
Ps	-0.258	0.458	-0.338	0.664
Co	-0.926	-0.045	-0.269	0.028
% N	-0.011	-0.958	-0.126	0.0469
% P	-0.337	0.671	-0.249	-0.109
% K	-0.705	0.268	0.311	-0.023
% Ca	-0.456	-0.067	0.799	0.123
% Mg	-0.613	-0.206	0.500	0.497
% Na	-0.752	-0.025	0.332	-0.453
g N pl	-0.269	-0.916	-0.202	0.073
g P pl	-0.710	0.482	-0.340	-0.014
g K pl	-0.948	0.159	-0.029	0.054
g Ca pl	-0.931	-0.019	0.211	0.145
g Mg pl	-0.922	-0.088	0.045	0.315
g Na pl	-0.801	-0.032	0.281	-0.418
CP	-0.269	-0.917	-0.203	0.072
P d	-0.854	-0.021	-0.139	0.065
K d	-0.819	0.0241	-0.292	-0.195
Ca d	-0.602	-0.346	-0.254	-0.248
Mg d	-0.936	-0.070	-0.199	0.009
Na d	-0.916	0.100	-0.1146	-0.098

Ps= peso seco; Co= gramos de pepino cosechado; % N= porcentaje de nitrógeno en tejido vegetal; % P= porcentaje de fósforo en tejido vegetal; % K= porcentaje de potasio en tejido vegetal; % Ca= porcentaje de calcio en tejido vegetal; % Mg= porcentaje de magnesio en tejido vegetal; % Na= porcentaje de sodio en tejido vegetal; g N pl= gramos de nitrógeno extraídos por planta; g P pl= gramos de fósforo extraídos por planta; g K pl= gramos de potasio extraídos por planta; g Ca pl= gramos de calcio extraídos por planta; g Mg pl= gramos de magnesio extraídos por planta; g Na pl= gramos de sodio extraídos por planta; CP= Contenido Proteínas (g/100 g de tejido seco); P d= fósforo disponible; K d= potasio disponible; Ca d= calcio disponible; Mg d= magnesio disponible; Na d= sodio disponible.

En la figura 1 se observan los agrupamientos obtenidos mediante el método clúster. Con base en las equidistancias, se observa que dos grupos abarcan la mayor cantidad de variables.

Figura 1. Agrupamiento de las variables del experimento de extracción de nutrientes disponibles en compostas del cultivo de pepino mediante el método clúster.



## Discusión

El cultivo de pepino no presentó diferencias en % N ni % Ca en tejido vegetal ni en g N pl. El aporte de nitrógeno de las compostas no tuvo efecto en su material de origen ni en la concentración del extractante. Esto coincide con Meneses & Quesada (2018) donde a pesar de que utilizaron diferentes sustratos de origen orgánico, la acumulación de N en tejido fue similar entre sus tratamientos.

En relación al elemento fosforo, para el factor composta, se observaron diferencias en % P, g P pl y P d. Por el contrario, Galindo *et al.* (2014) es sus diferentes tratamientos obtuvieron concentraciones similares del elemento en hojas del mismo cultivo.

En general, tanto en los elementos potasio, magnesio y sodio, hubo diferencias en el factor composta en % en tejido vegetal, en el extraído por el cultivo y en el predicho por el extractante. Castro *et al.* (2009) concluyeron que la riqueza total de los materiales representa en forma potencial un índice de disponibilidad de nutrimentos (Muñoz *et al.*, 2014).

La variable gramos de pepino cosechados (Co) presentó correlaciones altamente significativas con 13 variables. Esto se debe a que al cosechar se están extrayendo elementos del medio de soporte del cultivo (Inzunza *et al.*, 2010).

Las 14 variables que correlacionaron con el primer componente principal tienen una estrecha relación con la cosecha, concentración en tejido vegetal, gramos extraídos y la disposición predicha por el extractante. Las cuatro variables que correlacionaron con el segundo componente principal, con excepción de % P, presentaron correlaciones positivas altamente significativas entre ellas.

El método cluster permitió obtener dos grupos que contienen 48 de las 60 variables sometidas al proceso estadístico. De estos grupos, la concentración del extractante que presenta la menor distancia entre grupos y a la par abarca la mayor cantidad

de variables, es la que corresponde a la concentración de 2 % de ácido sulfúrico. Los métodos multivariados utilizados permitieron identificar y comprender el comportamiento de las variables analizadas con el fin de tomar decisiones con una perspectiva más amplia (Camacho *et al.*, 2010).

## **Conclusiones**

La extracción nutrimental de N, P, K, Ca y Mg y el elemento benéfico Na, por parte del cultivo de pepino, aunado a los métodos estadísticos multivariados, permitieron comprobar la eficiencia del ácido sulfúrico a una concentración de 2 % para predecir el aporte nutrimental a corto plazo de compostas de las diferentes calidades evaluadas.

## **Literatura citada**

- Baldemar-Hernández de la Cruz, O., Sánchez-Hernández, R., Ordaz-Chaparro, V. M., López-Noverola, U., Estrada-Botello, M. A., & Pérez-Méndez, M. A. (2017). Uso de compostas para mejorar la fertilidad de un suelo Luvisol de ladera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1273–1285.
- Bohórquez, A., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2014). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Revista Corpoica*, 15(1), 73–81.
- Camacho-Tamayo, J. H., Luengas-Gómez, C., & Leiva, F. R. (2010). Análisis multivariado de propiedades químicas en Oxisoles con diferentes niveles de intervención agrícola. *Acta Agronómica*, 59(3), 273–284.
- Castro, A., Henríquez, C., & Bertsch, F. (2009). Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 31–43. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3022570>

- de Paula, J. R., Teixeira de Matos, A., Pimentel de Matos, M., dos Santos Pereira, M., & Alberto, de A. C. (2013). Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados ao solo em campo. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 37(6), 1729–1741.
- Félix-Herrán, J. A., Serrato-Flores, R., Armenta-Bojorquez, A. D., Rodríguez-Quiroz, G., Martínez-Ruiz, R., Azpiroz-Rivero, H. S., & Olalde-Portugal, V. (2010). Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. *Revista Ra Ximhai*, 6(1), 105–113.
- Figuroa-Barrera, A., Álvarez-Herrera, J. G., Forero, A. F., Salamanca, C., & Pinzón, L. P. (2012). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. *Temas Agrarios*, 17(1), 32–43.
- Galindo Pardo, F. V., Fortis Hernández, M., Preciado Rangel, P., Trejo Valencia, R., Segura Castruita, M. Á., & Orozco Vidal, J. A. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1219–1232.
- Hernández-Mendoza, T. M., Salcedo-Pérez, E., Arévalo-Galarza, G., & Galvis-Spinola, A. (2007). Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 13(1), 5–13.
- Hernández-Rodríguez, O. A., Hernández-Tecorral, A., Rivera-Figuroa, C., Arras-Vota, A. M., & Ojeda-Barrios, D. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 35–46.
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J. L., & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops — Effects on soil and plant. *Soil & Tillage Research*, 160, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.005>



- Inzunza-ibarra, M. A., Villa-castorena, M., Catalán-valencia, E. A., & Román-López, A. (2010). Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 211–218.
- Maldonado T, R., Almaguer V, G., Álvares S, M. E., & Robledo S, E. (2008). Diagnóstico nutrimental y validación de dosis de fertilización para limón Persa. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 341–349.
- Martínez-Moreno, E., Corona-Torres, T., Avitia-García, E., Castillo-González, A. M., Terrazas-Salgado, T., & Colinas-León, M. T. (2006). Caracterización morfológica de frutos y semillas de nanche (*Byrsomina crassifolia* (L.) H.B.K.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(1), 11–17.
- Meneses-Fernández, C., & Quesada-Roldán, G. (2018). Crecimiento y rendimiento del pepino holandés en ambiente protegido y con sustratos orgánicos alternativos. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.28738>
- Muñoz Villalobos, J. A., Velásquez Valle, M. A., Osuna Ceja, E. S., Macías Rodríguez, Hilarioín, M., Ceja, O., Rodríguez, M., ... Hortalizas, P. D. E. (2014). El uso de abonos orgánicos en la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero. *Revista Chapingo Zonas Áridas*, 13(1), 27–32.  
<https://doi.org/10.5154/r.rchsza>.
- Nieves-González, F., Alejo-Santiago, G., Juárez-López, P., & Luna-Esquivel, G. (2017). Diagnóstico nutrimental en lima Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) con análisis estadístico por componentes principales. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 3(1), 8–13.
- Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y Composta de Estiercol de Ganado Vacuno Lechero Como Fertilizantes y Mejoradores del Suelo. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 27–37.
- Riera, N. I., Della Torre, V., Rizzo, P. F., Butti, M., Bressan, F. M., Zarate, N., ... Crespo, D. E. C. (2014). Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas

de residuos avícolas. Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias, 46(1), 195–203.

Rodas-Gaitán, H. A., Rodríguez-Fuentes, H., Ojeda-Zacarías, M. del C., Vidales-Contreras, J. A., & Luna-Maldonado, A. I. (2012). Curvas de Absorción de Macronutrientes en Calabacita Italiana (*Cucurbita pepo* L.). Revista Fitotecnia Mexicana, 35(5), 57–60.

Rubenacker, A., Campitelli, P., Sereno, R., & Ceppi, S. (2011). Recuperación química de un suelo degradado mediante la utilización de un vermicosposto. Avances En Ciencias e Ingeniería, 2(2), 83–95.

Sainz Rozas, H., Echeverría, H., & Angelini, H. (2012). Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 38(1), 33–39.

Salcedo-Pérez, E., Galvis-Spinola, A., Hernández-Mendoza, T. M., Rodríguez-Macias, R., Zamora-Natera, F., Bugarin-Montoya, R., & Carrillo-González, R. (2007). La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. Terra Latinoamericana, 25(4), 419–425.

## CAPITULO IV

### Nutrición fosfatada en producción de plántulas de pepino y chile habanero

#### Resumen

Una adecuada nutrición durante la producción de plántulas favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo al momento de ser trasplantado. El fósforo es un nutrimento limitante del crecimiento de las plantas, ya que ayuda al desarrollo del sistema radical. Por la relevancia de este nutrimento, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de fósforo en solución nutritiva, en la producción de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L. 'Zapata') y chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq. 'Big Brother'). En una modificación de la solución nutritiva (SN) Steiner se ensayaron cuatro concentraciones de  $\text{H}_2\text{PO}_4$  (1, 2, 3 y 4 mEq  $\text{L}^{-1}$ ). Plántulas de pepino y chile habanero recibieron siete riegos con las SN, con intervalos de dos días entre riego. Cuando las plántulas tuvieron en promedio 20 cm de altura se evaluó la producción de materia seca (g) por planta y la concentración de fósforo en hojas, tallos y raíces. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Con 4 mEq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{PO}_4$  en la SN se obtuvieron plántulas de pepino y chile con mayor concentración de fósforo en hojas, tallo y raíz. Sin embargo, en el caso de chile habanero, se observó que la mayor producción de materia seca y volumen de raíz se obtuvo con la SN con menor concentración de fósforo. Se recomienda el uso de 4 mEq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{PO}_4$  en la SN para darle la ventaja a las plántulas de llevar en su tejido altas concentraciones de fosforo.

**Palabras clave:** producción de plántulas, producción sustentable, soluciones nutritivas.

## Summary

Adequate nutrition during seedling production favors the growth and development of the crop at the moment of being transplanted. Phosphorus is a microelement limiting the growth of plants, which plays important roles in various physiological processes, in particular the development of the root system. Due to the importance of this nutrient, the objective of the study was to evaluate the effect of different concentrations of phosphorus in the nutrient solution, in the production of seedlings of cucumber (*Cucumis sativus* L. 'Zapata') and habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq. 'Big Brother'). In balanced Steiner nutrient solutions (NS), concentrations of 1, 2, 3 and 4 mEq L<sup>-1</sup> of phosphorus (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) were evaluated. The cucumber and habanero pepper seedlings received seven irrigations with the different SNs, with intervals of two days between irrigation. When seedlings reached an average height of 20 cm, the dry matter production (g) per plant and the percentage concentration of phosphorus in leaves, stems and roots, were evaluated. The experimental design was completely random, with four treatments and five replications. It was concluded that, with 4 mEq L<sup>-1</sup> of H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> in the SN, cucumber and chili seedlings with higher phosphorus concentration in leaves, stem and root were obtained. However, in the case of habanero pepper, it was observed that the higher production of dry matter and root volume was obtained with the SN with lower phosphorus concentration. It is recommended that 4 mEq L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> be used in the SN in order to give seedlings the advantage of a high phosphorus concentration in their tissues.

**Key words:** Seedling production, sustainable production, nutritional solutions.

## Introducción

La producción de plántulas requiere de un manejo adecuado de nutrición y control de plagas y enfermedades. Estas acciones favorecen el crecimiento y desarrollo del cultivo (Rangel *et al.*, 2008) y aumenta la probabilidad de éxito al ser trasplantadas. El fósforo es esencial en la nutrición de las plantas superiores, debido principalmente a su participación como componente estructural de la membrana celular, así como su rol en la transferencia de energía (Fernández, 2007). Otra de las funciones importantes atribuidas al fósforo es su efecto en el desarrollo del sistema radicular (Postma, *et al.*, 2014).

Sin embargo, debido a la capacidad de reacción del fósforo con los minerales presentes en el suelo, con frecuencia su disponibilidad es baja. En muchos agrosistemas en los cuales es necesaria la aplicación de P para asegurar la producción, la recuperación del P que se aplica es muy baja debido a fenómenos de adsorción, precipitación o conversión a formas orgánicas (Shen *et al.*, 2011). Existe la necesidad de producir plántulas vigorosas (Preciado *et al.*, 2008) que respondan a las condiciones críticas de campo.

Se ha observado que las condiciones de crecimiento inicial son un factor clave en la producción de los cultivos (Ochoa *et al.*, 2012), e inclusive se menciona que la deficiencia de fósforo en las etapas iniciales disminuye significativamente el rendimiento, en comparación con una deficiencia en las etapas finales (Grant *et al.*, 2001). Además, las plántulas, al ser trasplantadas al sitio definitivo de producción, se someten a características físicas, químicas y biológicas diferentes a las que se encontraban, lo que representa un estrés para ellas y, por ello, las características del sistema de producción determinarán la supervivencia de la planta (Baysal y Tipirdamaz, 2010; Li *et al.*, 2015) y, por ende, el nivel de producción (Galindo *et al.*, 2014). Al garantizar una concentración adecuada de nutrientes en las plántulas (Guzmán *et al.*, 2012), se favorece la adaptación al nuevo medio de crecimiento y desarrollo. Entre las adaptaciones que han desarrollado las plantas para sobrevivir en condiciones limitantes se encuentra la capacidad de sobrevivir en condiciones

de baja disponibilidad de fósforo a través de la exudación de las raíces de ácido cítrico y ácido málico, los cuales solubilizan algunos compuestos fosfatados a base de hierro y aluminio (Neumann y Römheld, 2012).

Sin embargo, no todas las plantas poseen tal capacidad. La capacidad del sistema radicular de exudar ácidos está relacionada directamente con la concentración interna de fósforo de la planta, más que por la condición de deficiencia en el medio de crecimiento (Zhang *et al.*, 2010). Por lo anterior, una propuesta sería producir plántulas con alta concentración de fósforo en su biomasa, lo que podría garantizar la disponibilidad del elemento en el cultivo (Liang *et al.*, 2015), mientras se adapta al sitio de trasplante.

En este sentido, producir plántulas con mayor concentración de fósforo en sus tejidos en comparación con las concentraciones normales (0.2 %) podría favorecer el éxito en el establecimiento definitivo del cultivo. Entre otras posibles prácticas de manejo que favorecen el establecimiento de plántulas, Grant *et al.* (2001) mencionan el incremento de la concentración de fósforo en semilla, manejo de labranza de conservación, inclusión de micorrizas y otros agentes microbiológicos como *Penicillium bilaii* para incrementar la fitodisponibilidad del fósforo en el suelo, así como mejoramiento genético con plantas con mayor capacidad de absorción de ese elemento tanto de los suelos como de las fuentes fertilizantes. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de cuatro concentraciones (1, 2, 3 y 4 mEq L<sup>-1</sup>) de fósforo en la producción y concentración del elemento en plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L. Var. 'zapata') y chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq. 'Big Brother').

## **Materiales y métodos**

Se emplearon semillas de pepino (*Cucumis sativus* L. 'Zapata') y chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq. 'Big Brother'). Los tratamientos consistieron en cuatro concentraciones de fósforo (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) con base en modificaciones a la solución nutritiva universal (Steiner, 1984) (Cuadro 10).

Cuadro 20. Balance de cationes y aniones en los tratamientos de soluciones nutritivas aplicadas a las plántulas de pepino y chile habanero.

Tratamiento	Concentración de iones (mEq L <sup>-1</sup> )					
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
1	12	1	7	7	9	4
2	12	2	6	7	9	4
3	12	3	5	7	9	4
4	12	4	4	7	9	4

Para la siembra de pepino y chile, se estableció un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Las semillas se sembraron en vasos de poliestireno con 1 L de capacidad rellenos de sustrato Sunshine<sup>®</sup>. La unidad experimental estuvo compuesta por cinco plántulas sembradas en el contenedor de 1 L. Para cada experimento la aplicación de solución nutritiva se inició 15 días después de la siembra y se realizaron 7 aplicaciones de tratamientos cada 2 días. La cantidad de solución nutritiva que se aplicó en cada riego fue de 500 mL por contenedor.

Las variables evaluadas fueron: peso fresco total, peso fresco de hoja, peso fresco de tallo, peso fresco de raíz, peso seco total, peso seco de hoja, peso seco de tallo y peso seco de raíz, % de fósforo en hoja, tallo y raíz.

La cuantificación de las variables se efectuó cuando las plántulas alcanzaron 20 cm de altura. En ese momento, se extrajeron del contenedor, se lavaron con agua destilada y se eliminó el sustrato de las raíces; se separaron hojas, tallos y raíces; se mantuvieron a temperatura ambiente para que perdieran el exceso de humedad por 24 horas y enseguida se colocaron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa de desecación a 60° C hasta que alcanzaron peso constante.

Una vez alcanzado el peso constante, se cuantificó el peso de materia seca en cada órgano en una balanza analítica marca OHAUS<sup>®</sup>. En seguida se molieron con ayuda

de un molino eléctrico marca IKA® y se prepararon muestras a través de digestión ácida para determinar la concentración de fósforo en el tejido vegetal mediante el método amarillo de vanadato-molibdato (Alcántar y Sandoval, 1999).

Las mediciones de las variables fueron sometidas a test de normalidad y las que no presentaron distribución normal ( $p < 0.20$ ) fueron transformadas. Luego se estandarizaron a Z y se les aplicó un análisis de varianza. Cuando hubo diferencia por efecto de los tratamientos, se les aplicó una prueba de medias (Tukey, 0.05) y, adicionalmente, una prueba de contrastes ortogonales con el fin de agrupar los tratamientos en tres dosis de fósforo (baja, media y alta) en la que los tratamientos se agruparon de la siguiente manera: la dosis baja se constituyó por el tratamiento 1; dosis media por los tratamientos 2 y 3; dosis alta por el tratamiento 4.

## Resultados y discusión

El análisis de varianza indicó diferencias en el efecto de los tratamientos sobre las variables porcentaje de P en hojas de pepino (%P Hp), porcentaje de P en tallos de pepino (%P Tp), porcentaje de P en raíces de pepino (%P Rp), peso seco de raíces de chile habanero (PS Rch) y porcentaje de fósforo en hojas de chile habanero (%P Hch) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza de las variables evaluadas en plántulas de pepino y chile habanero.

Variable	Pr > F	C.V.	Poder de la prueba ( $\alpha = 0.05$ )
PS Hp	0.72 <sup>ns</sup>	21.9	0.12
PS Tp	0.43 <sup>ns</sup>	25.6	0.22
PS Rp	0.69 <sup>ns</sup>	49.9	0.13
PS P	0.59 <sup>ns</sup>	21.9	0.16
% P Hp	0.001 <sup>**</sup>	0.76	0.99
% P Tp	0.001 <sup>**</sup>	0.86	0.99
% P Rp	0.000 <sup>**</sup>	0.82	0.99
PS Hch	0.13 <sup>ns</sup>	27.73	0.49



PS Tch	0.84 <sup>ns</sup>	10.85	0.10
PS Rch	0.001 <sup>**</sup>	33.04	0.99
PS CH	0.49 <sup>ns</sup>	18.98	0.26
%P Hch	0.01 <sup>*</sup>	7.90	0.86
%P Tch	0.29 <sup>ns</sup>	16.14	0.25
%P Rch	0.18 <sup>ns</sup>	18.81	0.35

\*\* = diferencia estadística altamente significativa; \* = diferencia estadística significativa; <sup>ns</sup> = no significativo; PS Hp= peso seco en hojas de pepino; PS Tp= peso seco en tallos de pepino; PS Rp= peso seco en raíces de pepino; PS P= peso seco de pepino; %P Hp= porcentaje de fósforo en hojas de pepino; %P Tp= porcentaje de fósforo en tallos de pepino; %P Rp= porcentaje de fósforo en raíces de pepino; PS Hch= peso seco de hojas de chile habanero; PS Tch= peso seco de tallos de chile habanero; PS Rch= peso seco de raíces de chile habanero; PS CH= peso seco de chile habanero; %P Hch= porcentaje de fósforo en hojas de chile habanero; %P Tch= porcentaje de fósforo en tallos de chile habanero; %P Rch= porcentaje de fósforo en raíces de chile habanero.

La prueba de medias indicó que el tratamiento 4 presentó la mayor concentración de P en % P Hp, % P Tp, % p Rp. Los tratamientos 1 y 2 fueron iguales en PS Rch. En la variable % P Hch, los tratamientos 2, 3 y 4, fueron estadísticamente iguales (Cuadro 12).

Cuadro 12. Prueba de medias en variables de plántulas de pepino y chile habanero.

Tratamiento	%P Hp	%P Tp	%P Rp	PS Rch	%P Hch
1	0.75 d*	0.75 c	0.76 d	0.86 a	0.35 b
2	0.79 c	0.77 b	0.84 c	0.77 a	0.43 ab
3	0.83 b	0.78 b	0.94 b	0.36 b	0.47 a
4	0.88 a	0.86 a	0.96 a	0.20 b	0.45

\*Letras iguales entre columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ); %P Hp= porcentaje de fósforo en hojas de pepino; %P Tp= porcentaje de fósforo en tallos de pepino; P Rp= porcentaje de fósforo en raíces de pepino; PS Rch= peso seco de raíces de chile habanero; %P Hch= porcentaje de fósforo en hojas de chile habanero.

La prueba de contrastes ortogonales indicó diferencias en los grupos de medias de ocho variables. En la Cuadro IV se observa que la dosis baja de fósforo,

representada por el tratamiento 1 ( $T_1$ ), fue diferente que la dosis media, representada por los tratamientos 2 y 3 ( $T_2$ ,  $T_3$ ) y alta, representada por el tratamiento 4 ( $T_4$ ). La dosis alta fue diferente a la dosis media en %P Hp, %P Tp, %P Rp, PS Hch. La dosis media, representada por los tratamientos 2 y 3, fue diferente en %P Hp, %P Rp, y PS Rch (Cuadro 13).

Cuadro 13. Valores de p del método contrastes ortogonales ( $\alpha=0.05$ ) en variables de plántulas de pepino y chile habanero.

Contraste	%P Hp	%P Tp	%P Rp	PS Hch	PS Rch	%P Hch	% P Tch	% P Rch
$T_1 = \frac{T_2 + T_3 + T_4}{3}$	0.000	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000
$T_4 = \frac{T_2 + T_3}{2}$	0.000	0.000	0.000	0.242	0.000	0.948	0.093	0.452
$T_2 = T_3$	0.000	0.061	0.000	0.696	0.000	0.251	0.404	0.968

$T_i$ = tratamiento; %P Hp= porcentaje de fósforo en hojas de pepino; %P Tp= porcentaje de fósforo en tallo de pepino; %P Rp= porcentaje de fósforo en raíces de pepino; PS Hch= peso seco de hojas de chile habanero; PS Rch= peso seco de raíces de chile habanero; %P Hch= porcentaje de fósforo en hojas de chile habanero; %P Tch= porcentaje de fósforo en tallos de chile habanero; %P Rch= porcentaje de fósforo en raíces de chile habanero.

El método de contrastes ortogonales permitió observar que la dosis baja fue diferente a las dosis media y alta en 8 de 13 variables evaluadas. De las variables mencionadas, el peso seco de raíces de chile habanero fue mayor en la dosis baja. La dosis alta de fósforo fue diferente a la dosis media en el porcentaje de fósforo en hojas de pepino (0.88 % en dosis alta, 0.80 % en dosis baja); porcentaje de fósforo en tallos de pepino (0.86 % en dosis alta, 0.78 % en dosis baja); porcentaje de fósforo en raíces de pepino (0.96 % en dosis alta, 0.89 % en dosis media) y peso seco de raíces de chile habanero. En esta variable se observó que la dosis alta de fósforo presentó un volumen menor de raíz (0.20 g) que la dosis media (0.57 g).

El tratamiento 4 (4 mEq  $\text{H}_2\text{PO}_4^- \text{ L}^{-1}$ ) con mayor concentración de fósforo para el sistema radical de las plántulas, presentó las mayores concentraciones de fósforo en hojas, tallo y raíces en pepino (0.88 %, 0.85 % y 0.96 %, respectivamente). En hojas de chile habanero, esta concentración de fósforo fue estadísticamente igual a los tratamientos 2 y 3. (0.45; 0.43 y 0.47%). Nieves *et al.*, (2015) reportaron en hojas de chile habanero una concentración máxima de fósforo de 0.26% en su tratamiento de 2.0 mEq  $\text{L}^{-1}$ .

### **Peso seco de raíz**

Se observó que el peso seco de raíces de chile habanero fue mayor en los tratamientos con concentraciones bajas de fósforo (0.85 g en el tratamiento 1, y 0.77 g en el tratamiento 2; Cuadro 12). Esto indica que el desarrollo radical del chile habanero no se favoreció por efecto de presencia de fósforo; por el contrario, se redujo significativamente el peso de raíz a partir de la concentración de 3 mEq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . En las plántulas de pepino, no hubo efecto significativo en peso de raíz por la concentración de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en la solución nutritiva. Esto concuerda con lo que mencionan Pearse *et al.* (2006), quienes indican que la capacidad de absorción de fósforo es un factor controlado genéticamente, debido a que, con mayor suministro de fósforo, algunas especies como el chícharo (*Pisum sativum* L.) incrementan la masa radical, mientras que, en otras como el trigo (*Triticum aestivum* L.) y el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) disminuye, y algunas otras como la haba (*Vicia faba* L.), no responden a la aplicación de fósforo. Observaron, además, que hay diferencias hasta en plantas de la misma especie. Esto se observa también en el método de contrastes ortogonales, el cual indica que la dosis baja reflejó un efecto mayor en el peso seco de raíces de chile habanero que las dosis media y alta (0.85 g en dosis baja, 0.44 g en dosis media y alta).

### **Fósforo en hoja**

El porcentaje de fósforo en hojas de chile habanero y hojas de pepino fue estadísticamente mayor en los tratamientos 3 y 4 en comparación con el tratamiento 1 (0.75 % en hojas de pepino y 0.35 % en hojas de chile habanero). Con la aplicación

de soluciones nutritivas con una concentración entre 3 y 4 mEq L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> se puede obtener plántulas con una concentración de P en hoja superior a la que se obtiene con la solución Steiner, lo que puede favorecer el crecimiento y desarrollo en campo del cultivo, pues se ha demostrado que la concentración de fósforo desde la semilla tiene una correlación de 0.98 en la producción de materia seca en los cultivos (Wang *et al.*, 2017). En la producción agrícola es importante la disponibilidad de fósforo en la etapa temprana de las plantas, ya que se ha encontrado que el efecto negativo que ocasiona el déficit de fósforo en esta etapa reduce significativamente el rendimiento en comparación con una deficiencia que se presenta en etapas finales (Grant *et al.*, 2001).

### **Fósforo en tallo**

La concentración de fósforo en tallo está fuertemente influenciada por el aporte externo de fósforo, este tejido actúa como un reservorio cuando hay exceso de este nutrimento (Parks *et al.*, 2000). Este efecto se observa claramente en el caso de tallo de pepino, en donde a mayor concentración de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> se tuvo una mayor concentración de P en tallo; sin embargo, para chile habanero no hubo diferencias estadísticas. Lo anterior puede atribuirse a características genéticas, que implican desde la capacidad de exudación de ácidos orgánicos para acidificar la rizosfera (Zhang *et al.*, 2010), hasta la capacidad de acumular y traslocar el nutrimento a nuevos brotes y hojas (Naureen *et al.*, 2018).

### **Conclusiones**

La concentración de 4 mEq H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> L<sup>-1</sup> en solución nutritiva permitió incrementar la concentración de fósforo en los órganos de las especies estudiadas, por lo que se puede utilizar en la producción de plántulas a fin de garantizar el abastecimiento de este nutrimento al momento del trasplante. Se observó que el peso seco de raíz de chile habanero fue mayor cuando se suministró una menor concentración de fósforo. Las plantas de pepino y chile habanero que se sometieron a la dosis baja de fósforo

podrían estar en desventaja al momento de ser trasplantadas al no contar con reserva de fósforo en sus tejidos.

### Literatura citada

- Alcántar GG, Sandoval VM (1999) Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 155 pp.
- Baysal FG, Tipirdamaz R (2010) Physiological and antioxidant response of three cultivars of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salinity. Turk. J. Biol. 34: 287-296.
- Fernández MT (2007) Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA 41(2): 51-57.
- Galindo PFV, Fortis HM, Preciado RP, Trejo VR, Segura CMÁ, Orozco VJA (2014) Caracterización físicoquímica de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. Rev. Mex. Cs. Agríc. 5: 1219-1232.
- Grant CA, Flaten DN, Tomaszewicz DJ, Sheppard SC (2001) The importance of early season phosphorus nutrition. Can. J. Plant Sci. 81: 211-224.
- Guzmán-Antonio A, Borges-Gómez L, Pinzón-López L, Ruiz-Sánchez E, Zúñiga-Aguilar J. (2012) Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. Agron. Mesoamer. 32: 247-257.
- Li Y, Tian X, Wei M, Shi Q, Yang F, Wang X. (2015) Mechanisms of tolerance differences in cucumber seedlings grafted on rootstocks with different tolerance to low temperature and weak light stresses. Turk. J. Bot. 39: 606-614.
- Liang LZ, Qi HJ, Xu P, Zhao XQ, Dong XY, Shen RF (2015) High phosphorus at seedling stage decreases the post-transplanting fertiliser requirement of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Sci. Hort. 190: 98-103.
- Naureen Z, Sham A, Al Ashram H, Ginali SA, Al Gheilani S, Ma-bood F, Hussain J, Al Harrasi A, AbuQamar SF (2018) Effect of phosphate nutrition on growth, physiology and phosphate transporter expression of cucumber seedlings. Plant Physiol. Biochem. 127: 211-222.

- Neumann G, Römheld V (2012) Rhizosphere chemistry in relation to plant nutrition. En Marschner H (Ed.) Mineral Nutrition of Higher Plants. 3ª ed. Elsevier. Londres, RU. pp. 347-368.
- Nieves-González F, Alejo-Santiago G, Luna-Esquivel G, Lemus- Flores C, Juárez-López P, Salcedo-Pérez E (2015) Extracción y requerimiento de fósforo en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) 'Big brother'. Interciencia 40: 282-286.
- Ochoa AGF, Martínez BE, Ramírez PR, Correa LG (2012) Crecimiento y desarrollo de la lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahití, en suelos con limitaciones por profundidad efectiva, en un bosque seco tropical. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 65(2): 6567-6578.
- Parks SE, Haigh AM, Cresswell GC (2000) Stem tissue phosphorus as an index of the phosphorus status of *Banksia ericifolia* L.f. Plant Soil 227: 59-65.
- Pearse SJ, Veneklaas EJ (2006) Carboxylate release of wheat, canola and 11 grain legume species as affected by phosphorus status. Plant Soil 288: 127-139.
- Postma JA, Dathe A, Lynch JP (2014) The optimal lateral root branching density for maize depends on nitrogen and phosphorus availability. Plant Physiol. 166: 590-602.
- Preciado RP, Lara-Herrera A, Segura CMA, Rueda PEO, Orozco VJA, Yesca CP, Montemayor TJA (2008) Amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. Terra Latinoamericana. 26: 37-42.
- Shen J, Yuan L, Zhang J, Li H, Bai Z, Chen X, Zhang W, Zhang F (2011) Phosphorus dynamics: From soil to plant. Plant Physiol. 156: 997-1005.
- Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. Proc. 6<sup>th</sup> Int. Congr. Soiless Culture. Wageningen, Holanda. pp. 633-650.
- Wang K, Cui K, Liu G, Luo X, Huang J, Nie L, Wei D, Peng S (2017) Low straw phosphorus concentration is beneficial for high phosphorus use efficiency for grain production in rice recombinant inbred lines. Field Crops Res. 203: 65-73.
- Zhang F, Shen J, Zhang J, Zuo Y, Li L, Chen X (2010) Rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity: implications for China. Adv. Agron. 107: 1-32

## CAPÍTULO V

### Conclusiones generales

La selección adecuada de los residuos orgánicos para la elaboración de compostas, y la mezcla de estos, definieron el tiempo de compostaje y la inmediata disponibilidad y cantidad nutrimental hacia el cultivo de pepino.

Las compostas debidamente procesadas permitieron un desarrollo y crecimiento adecuado del cultivo de pepino y pudieron ser utilizadas sin mezclarlas con suelo sin causar toxicidad a las plantas.

Las concentraciones de ácido sulfúrico empleadas extrajeron N, P y K en función al tipo de residuo utilizado. No obstante, las concentraciones de este ácido sulfúrico fueron efectivas al extraer los elementos P y K de compostas contrastantes en su material de origen; asimismo, las concentraciones de ácido sulfúrico a 2, 4 y 8 % resultaron extractantes adecuados de la fracción lábil de compostas.

La composta con mezcla de estiércol de vaca y gallinaza aportó la mayor concentración de P y K, con 27,518 y 9,501 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente; mientras que para N no hubo diferencias entre las compostas evaluadas, pero su aporte osciló entre 490.0 y 663.3 mg kg<sup>-1</sup>.

La extracción nutrimental de N, P, K, Ca y Mg y el elemento benéfico Na, por parte del cultivo de pepino, aunado a los métodos estadísticos multivariados, permitieron comprobar la eficiencia del ácido sulfúrico a una concentración de 2 % para predecir el aporte nutrimental de compostas de diferente calidad a corto plazo.



*"2019, a 100 años del asesinato del General Emiliano Zapata Salazar"*

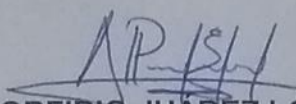
Cuernavaca, Mor., a 14 de junio de 2019.

**M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **Disponibilidad nutrimental de compostas a partir de su fracción labil.**, que presenta: **FREDY NIEVES GONZÁLEZ**, mismo que fue desarrollado bajo mi dirección y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*



**DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ**  
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo





"2019, a 100 años del asesinato del General Emiliano Zapata Salazar"

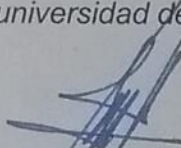
Cuernavaca, Mor., a 14 de junio de 2019.

**M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **Disponibilidad nutrimental de compostas a partir de su fracción labil**, que presenta: **FREDY NIEVES GONZÁLEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
**Por una humanidad culta**  
*Una universidad de excelencia*



**DR. IRÁN ALIA TEJACAL**  
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo



*"2019, a 100 años del asesinato del General Emiliano Zapata Salazar"*

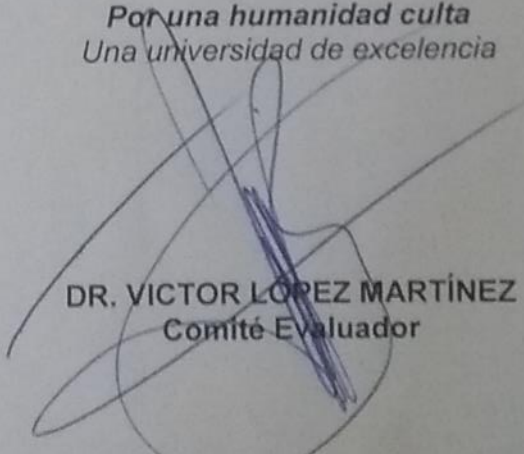
Cuernavaca, Mor., a 14 de junio de 2019.

**M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **Disponibilidad nutrimental de compostas a partir de su fracción labil**, que presenta: **FREDY NIEVES GONZÁLEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*



**DR. VICTOR LOPEZ MARTÍNEZ**  
**Comité Evaluador**

C.i.p. Archivo



*"2019, a 100 años del asesinato del General Emiliano Zapata Salazar"*

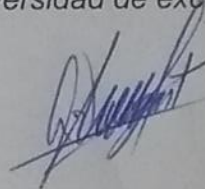
Cuernavaca, Mor., a 14 de junio de 2019.

**M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **Disponibilidad nutrimental de compostas a partir de su fracción labil**, que presenta: **FREDY NIEVES GONZÁLEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
***Por una humanidad culta***  
*Una universidad de excelencia*



**DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES**  
**Comité Evaluador**

C.i.p. Archivo



*"2019, a 100 años del asesinato del General Emiliano Zapata Salazar"*

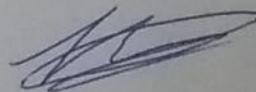
Cuernavaca, Mor., a 14 de junio de 2019.

**M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **Disponibilidad nutrimental de compostas a partir de su fracción labil**, que presenta: **FREDY NIEVES GONZÁLEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*



**DR. GREGORIO LUNA ESQUIVEL**  
**Comité Evaluador**

C. i. p. Archivo



"2019, a 100 años del asesinato del General Emiliano Zapata Salazar"

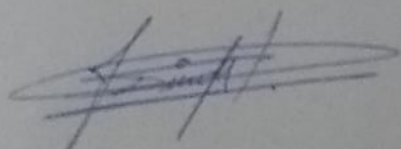
Cuernavaca, Mor., a 14 de junio de 2019.

M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL  
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **Disponibilidad nutrimental de compostas a partir de su fracción labil**, que presenta: **FREDY NIEVES GONZÁLEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*



DR. JUAN DIEGO GARCÍA PAREDES  
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Jefatura de programas educativos de posgrado



"2019, a 100 años del asesinato del General Emiliano Zapata Salazar"

Cuernavaca, Mor., a 14 de junio de 2019.

**M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **Disponibilidad nutrimental de compostas a partir de su fracción labil**, que presenta: **FREDY NIEVES GONZÁLEZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. DAGOBERTO GUILLÉN SÁNCHEZ**  
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209.  
Tel. (777) 329 70 46, 329 70 00, Ext. 3211 / fagropecuarias@uaem.mx

**UA  
EM**

*Una universidad de excelencia*

RECTORÍA  
2017-2023