

Evaluación del biofertilizante generado por el lixiviado del compost de la pulpa de café

Pablo Steven Jiménez Camacho¹, Paola Brenes Rojas², Catalina Vargas Meneses³, Olger Antonio Chaves Garita⁴, Víctor Roberto Naranjo Zúñiga⁵

1. Bachiller en Ingeniería Agronómica, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica; jsteven036@gmail.com
2. Vicerrectoría de Investigación, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica; paolarjs@gmail.com
3. Universidad Estatal a Distancia (UNED), Laboratorio de Investigación en Agua y Suelos, LIAS – San Marcos, Coordinadora; cvargasm@uned.ac.cr; <http://orcid.org/0000-0002-8555-4496>
4. Universidad Estatal a Distancia (UNED), Laboratorio de Investigación en Agua y Suelos, LIAS – San Marcos, olgerantonio.chaves@uned.cr; <http://orcid.org/0000-0002-1169-9617>
5. Coopetarrazú R.L, Coordinador del Centro para el Desarrollo de Alternativas Orgánicas (CeDAO); vnaranjo@coopetarrazu.com

RESUMEN: Se realizó la evaluación de lixiviado de compost de pulpa de café con el objetivo de evaluar la aplicación de lixiviado de composta de café como biofertilizante. Métodos: El ensayo se realizó aplicando dos diferentes dosis de compost sobre el sustrato de los recipientes con plantas de maíz y dejando un tratamiento testigo sin lixiviado de compost. Se realizaron mediciones semanales en cada uno de los tratamientos para analizar el desarrollo vegetativo de las plantas en cada tratamiento. Después de 11 semanas de regar todas las plantas dos veces por semana se realizó un muestreo de suelo, muestreando tres plantas por tratamiento. Resultados: el tratamiento con el lixiviado más concentrado presentó un pH óptimo, además se observó que el lixiviado aportó al suelo de manera significativa potasio y manganeso. En cuanto al desarrollo vegetativo, la aplicación del lixiviado provocó diferencias significativas entre los tratamientos con lixiviados y el testigo en cuanto a altura y diámetro de las plantas. Conclusión: La aplicación del lixiviado fue un factor determinante en el desarrollo vegetativo de las plantas, ya que mejoró las propiedades químicas y biológicas del sustrato edáfico promoviendo un mayor crecimiento en las plantas.

Palabras clave: Biofertilizante, café, maíz, compost, lixiviado.

ABSTRACT. Introduction: "Evaluation of biofertilizer generated by leachate from coffee pulp compost". Introduction: The evaluation of coffee pulp compost leachate was carried out using this harvest residue as a biofertilizer thanks to its contribution of beneficial microorganisms and nutrients, which when not treated can contaminate the environment and generate bad odors. Objective: To evaluate the application of coffee compost leachate as a biofertilizer on the vegetative development of corn plants, in a trial under controlled conditions in the Coffee Farm of COOPETARRAZÚ R.L. Methods: The trial was carried out for 11 weeks at two of the three treatments, applying two different doses of compost on the substrate of the containers with corn plants and leaving a control treatment without compost leachate. Weekly measurements of diameter and height were made in each of the treatments to analyze the vegetative development of the plants in each treatment. After 11 weeks of watering all plants twice a week a soil sampling was performed by sampling three plants per treatment. Results: the treatment with the most concentrated leachate presented an optimal pH, in addition it was observed that the leachate contributed to the soil significantly potassium, manganese and phosphorus solubilizing bacteria. Regarding vegetative development, the application of leachate caused significant differences between leachate treatments and control in terms of height and diameter of the plants. Conclusion: The application of leachate was a determining factor in the vegetative development of plants, since it improved the chemical and biological properties of the soil substrate promoting greater growth in the plants to which the

leachate of coffee pulp compost was applied, compared to the plants of the control treatment which showed less development.

Key words: Biofertilizer, coffee, corn, compost, leachate.

INTRODUCCIÓN

El café en Costa Rica fue introducido desde 1720, esta práctica ha generado que a lo largo de los años se dé un sinnúmero de cambios y ajustes al quehacer y la forma en la que los costarricenses desarrollaban su producción agrícola en todo el país. La producción de café fruta en el país sigue siendo un rubro de alta relevancia. En el periodo 2019-2020, la cosecha fue de 197 480 116 “2Dhl” (fanegas) casi 2 millones de fanegas o sacos de café oro de 46 kilogramos, en esa misma cosecha en el cantón de Tarrazú se produjeron 305156 fanegas (ICAFE, 2020).

Se debe de contextualizar que el cultivo del café es un evento estacional que depende de la fisiología de las plantas, ya que éstas están influenciadas por las condiciones geográficas y climáticas que dependiendo de la región del país acelera la maduración de los primeros granos, por lo que influyen de manera directa en el cultivo factores, como lo son: la altura, temperatura y la cantidad de precipitación. En Costa Rica se pueden iniciar graneas desde agosto y setiembre, por su parte en la región de Los Santos los primeros granos se empiezan a recolectar hasta en el mes de noviembre y el óptimo de cosecha se da en el mes de enero.

Al darse el inicio de las graneas, inicia también los procesos de manejo y gestión del cultivo dentro de todos los beneficios que pueda haber en una región, con esto se obtienen los granos de café para exportación y los productos que se comercializan en el país, sin embargo, el procesamiento de este grano genera gran cantidad de residuos de cosecha, de tipo orgánicos que en muchas ocasiones no reciben un tratamiento adecuado y es altamente contaminante para el medio ambiente.

En el mundo los métodos más utilizados para el manejo de residuos orgánicos son el compostaje y el vermicompostaje, el compostaje se da debido a la acción de microorganismos, los cuales promueven la biodegradación de la materia orgánica generándose el compost (Chávez y Rodríguez, 2016).

En el país el Instituto del Café en Costa Rica (ICAFE), en conjunto con diversas instituciones nacionales e internacionales, ha desarrollado guías para el adecuado manejo de los residuos, acogidas en su mayoría de los beneficios para el adecuado cumplimiento de la legislación y la normativa vigente para la protección del ambiente, por ellos empresas y cooperativas como COOPETARRAZÚ R.L., tratan los residuos de cosecha para elaborar compost a base de broza de café. (Municipalidad de Tarrazú, 2015). El compost se descompone de manera aeróbica, que genera un biofertilizante que posteriormente es distribuido entre los productores.

En los procesos de compostajes se producen otro tipo de subproductos como los lixiviados, los cuales son los extractos acuosos del compost, muy similares al te de compost, pero no son almacenados aeróbica o anaeróbicamente. Este subproducto al no ser tratado adecuadamente puede ser un agente contaminante, sin embargo, se ha utilizado como un insumo agropecuario, debido a que el movimiento pasivo del agua a través del compost remueve nutrientes solubles y microorganismos (Mac, 2018)

La adición de lixiviados capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes en los suelos, puede ser de gran ayuda para el desarrollo de los cultivos debido a que se han desarrollado abonos con resultados positivos, los cuales, aumentan la actividad biológica, no está demás decir que este tipo de prácticas se ven promovidas debido a que al aumentar la fertilidad del suelo también aumenta la productividad del cultivo (Cantero et al., 2015).

A partir de lo anterior el principal objetivo de este proyecto se basó en la evaluación de la aplicación de lixiviado de composta de café como biofertilizante durante el proceso del desarrollo vegetativo de las plantas de maíz, como parte de un ensayo bajo condiciones controladas en la Hacienda Cafetalera de CoopeTarrazú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio en donde evaluamos la calidad del lixiviado del compost de la pulpa de café fue el vivero del Centro para el Desarrollo de Alternativas Orgánicas (CeDAO) ubicado en la Hacienda Cafetalera de COOPETARRAZÚ, la cual se sitúa sobre la cuenca del río Pirrís a 1400 m s.n.m en la vertiente del Pacífico, en el distrito de San Marcos, cantón de Tarrazú, provincia de San José (**Figura 1**).



Figura 1. Área de estudio. Hacienda Cafetalera COOPETARRAZÚ.

Fuente: <https://www.google.com/maps/@9.6569979,-84.0193991,1531m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttu>

En el proceso de comparación de los efectos químicos y biológicos del uso de lixiviado de composta de café sobre el sustrato edáfico del maíz en condiciones controladas de invernadero, se colectó un metro cúbico de suelo de la Hacienda Cafetalera de COOPETARRAZÚ. Este suelo pertenece al orden *ultisol* por el lugar donde se encuentra, se mezcló bien con la pala un metro cúbico de tierra, para llenar 30 macetas.

Se ubicaron las 30 macetas dentro del vivero para colocarles malla anti-áfidos en la parte superior a cada una, realizando una perforación con las tijeras en el centro de la malla de aproximadamente cinco centímetros de diámetro para sembrar dos semillas de maíz en cada maceta. Luego se realizó la aplicación de los tratamientos utilizando 10 macetas por tratamiento (cada maceta equivale a una repetición por tratamiento). La aplicación de los tratamientos se detalla en la **Tabla 1**.

Tabla 1. *Tratamientos y dosis de compost*

Tratamientos	Dosis de compost
Tratamiento 1 (T1)	1000 g/m ² = 250 gramos por maceta
Tratamiento 2 (T2)	500 g/m ² = 125 gramos por maceta
Testigo (T3)	0 g/m ²

Nota: elaboración propia

Durante el experimento todas las macetas fueron colocadas en tres bloques de este a oeste para que variables independientes como el sol o el efecto sombra no influyeran durante el crecimiento de las plantas y que un tratamiento se desarrolle más que otro.

A cada una de las macetas se les aplicó mediante riego dos litros de agua por semana en dos aplicaciones de un litro cada una, para que el lixiviado no sea demasiado concentrado en el T1, y sean satisfechas las necesidades de agua del maíz, así entonces sabiendo que el área superficial de cada cubeta o maceta fue de 661 cm² o 0,066 m², entonces al aplicar 8 litros de agua por maceta equivalen a 121 litros de agua por metro cuadrado, lo que corresponde a casi 1500 mm de precipitación anual. Luego de 11 semanas de iniciado el riego en las plantas de maíz, se tomaron tres muestras de cada uno de los tres tratamientos y se enviaron al laboratorio para comparar los resultados entre el testigo (T3) y los tratamientos (T1 y T2). Durante la determinación de la respuesta del uso del lixiviado de composta de café sobre el desarrollo vegetativo del maíz se midió el diámetro y altura de las plantas de maíz, con una regla o cinta métrica con una incertidumbre de $\pm 0,5$ milímetro después que germinaron las semillas una vez por semana y se anotaron las medidas en la libreta de apuntes hasta transcurrir 11 semanas después de la siembra, para posteriormente realizar los análisis estadísticos de los resultados y cuando correspondió ($p < 0,05$), se graficaron. Al comparar los efectos químicos y biológicos del uso del lixiviado de composta de café sobre el sustrato edáfico del maíz, se muestreó el suelo de tres de las 10 unidades de análisis de cada tratamiento, debido a que muestrear la totalidad de macetas es poco viable, de esta manera se obtuvieron nueve puntos de siembra para comparar nueve datos, tres de diferente tratamiento. En el caso de la respuesta del uso del lixiviado sobre el desarrollo vegetativo se midió el diámetro y altura en las plantas, en los diferentes tratamientos para conocer la respuesta del desarrollo vegetativo. Para lograr lo anterior, se tomaron dos plantas de las unidades de análisis de cada uno de los tratamientos.

Como método de comparación entre los impactos de los efectos químicos y microbiológicos del uso del lixiviado de composta de café utilizado en diferentes dosis los tratamientos, se realizaron muestreos de suelo

para las determinaciones respectivas para cada uno de los tratamientos con tres repeticiones en cada uno; esto inmerso durante el proceso de las 11 semanas del desarrollo del trabajo de campo, con el fin de determinar la respuesta del uso del lixiviado sobre el desarrollo vegetativo del maíz en condiciones de invernadero. También se anotaron los datos de altura y diámetro de cada uno de los tratamientos, con una frecuencia de 7 días para llevar un control del crecimiento de las plantas.

Análisis microbiológico: El análisis microbiológico se realizó a una profundidad de 10 cm y sobre la rizosfera del cultivo de maíz, con el objetivo de determinar el cambio de las poblaciones microbiológicas debido al efecto de cada tratamiento, los recuentos microbianos fueron realizados mediante técnica de Recuento Total utilizando medios de cultivo específicos y se reportaron en Unidades Formadoras de Colonias por gramo (UFC/g). Para los análisis químicos y microbiológicos se realizó un muestreo representativo de 3 muestras de suelo por tratamiento, cada muestra con un peso de 500grs.

Análisis químicos: Para las determinaciones de carbono y nitrógeno se utilizó combustión seca con autoanalizador. El aluminio y la acidez se realizó mediante el uso de titulación; el fósforo y el azufre por Colorimetría con el Analizador de Inyección de Flujo (FIA) y el resto de los elementos por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Los datos son reportados con base a masa seca.

Análisis estadístico: Se realizó un diseño experimental mediante Diseño Completamente Aleatorio. Los datos fueron analizados mediante aplicación de Análisis de Varianza y, cuando $p < 0,05$ se realiza prueba post-hoc de Duncan (Chaves, 2014) y se grafican según tipo de variable (cualitativa, serie cronológica, cuantitativa continua o cuantitativa discreta).

RESULTADOS

Al realizar el muestreo de suelo en los diferentes tratamientos, se logró evidenciar que los valores medios de pH, potasio y manganeso presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos, testigo (T3) y los que contienen lixiviado (T1) y (T2) al finalizar el ensayo en el suelo ($p < 0,05$). Mientras que los valores de los elementos calcio, magnesio, fósforo, zinc, cobre, hierro, carbono y nitrógeno, no presentaron diferencias estadísticas significativas como se puede observar en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Contenido de elementos químicos en el suelo de cada uno de los tratamientos.

Factor analizado	Tratamiento		
	T1	T2	T3
pH (agua)	6,1 ^a	5,8 ^b	5,7 ^b
Acidez cmol (+) /L	0,10 ^a	0,19 ^a	0,22 ^a
Calcio cmol (+) /L	2,68 ^a	2,73 ^a	3,00 ^a
Magnesio cmol (+) /L	1,17 ^a	1,20 ^a	1,26 ^a
Potasio cmol (+) /L	2,12 ^a	1,55 ^a	0,93 ^a
CICE cmol (+) /L	6,08 ^a	5,67 ^a	5,43 ^a
% Saturación de Aluminio	1,77 ^a	3,43 ^a	4,13 ^a
Fósforo mg/L	2,0 ^a	2,0 ^a	2,0 ^a
Zinc mg/L	0,93 ^a	0,90 ^a	0,80 ^a
Cobre mg/L	4,67 ^a	4,00 ^a	3,66 ^a

Factor analizado	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Hierro mg/L	49,67 ^a	48,33 ^a	43,66 ^a
Manganeso mg/L	12,67 ^a	13,00 ^a	10,00 ^b
% Carbono	0,76 ^a	0,70 ^a	0,65 ^a
% Nitrógeno	0,13 ^a	0,12 ^a	0,12 ^a
Relación C/N	5,90 ^a	5,80 ^a	5,53 ^a

Nota: Las letras diferentes indican diferencia significativa de un 5% para cada factor.

Fuente: elaboración propia.

Al finalizar el ensayo y muestrear el suelo de los diferentes tratamientos, se encontraron bacterias fijadoras de nitrógeno y bacterias solubilizadoras de fósforo: para el T1 $2,6 \times 10^7$ UFC/g de bacterias fijadoras de nitrógeno y $1,9 \times 10^6$ UFC/g de bacterias solubilizadoras de fósforo. Estos valores encontrados fueron interpretados según la tabla de Gelvez et al. (2020) donde se indica que los valores tanto de las bacterias fijadoras de nitrógeno como de solubilizadoras de fósforo son altos en el T1, mientras que en el T2 y T3 o testigo los valores de las bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo son medios como se ve en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Niveles adecuados de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo.

Tipo de análisis	T1	T2	T3
Recuento de bacterias fijadoras de nitrógeno	$2,6 \times 10^7$ Alto	$6,7 \times 10^6$ Medio	$3,1 \times 10^6$ Medio
Recuento de bacterias solubilizadoras de fósforo	$1,9 \times 10^6$ Alto	$4,3 \times 10^5$ Medio	$1,6 \times 10^5$ Medio

Nota: Adaptado con base a (Gelvez et al., 2020).

Al realizar el análisis estadístico a las de bacterias fijadoras de nitrógeno, *Lactobacillus* y bacterias solubilizadoras de fósforo, solamente se encontraron diferencias significativas en el recuento de bacterias solubilizadoras de fósforo como se observa en la **tabla 4** y **Figura 3**.

Tabla 4. Resultado del análisis estadístico de los parámetros biológicos estudiados en cada tratamiento.

Parámetro	T1	T2	T3
Fijadores de Nitrógeno UFC/g	3×10^7 ^a	7×10^6 ^a	3×10^6 ^a
<i>Lactobacillus</i> UFC/g	$<1 \times 10^2$ ^a	$<1 \times 10^2$ ^a	$<1 \times 10^2$ ^a
Solubilizadores de Fósforo UFC/g	2×10^6 ^a	4×10^5 ^b	2×10^5 ^c

Nota: Las letras diferentes indican diferencia significativa de un 5% para cada parámetro

Fuente: elaboración propia.

A partir de lo anterior, se puede observar los resultados del análisis microbiológico en el suelo; se evidencia que los *Lactobacillus* y las bacterias fijadoras de nitrógeno no presentaron variación en ningún tratamiento ($p > 0,05$, por esta razón no se grafican), mientras que los solubilizadores de fósforo presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$), también se puede apreciar el aumento en la población microbiana de UFC/g de bacterias fijadoras de nitrógeno ($p < 0,05$).

En el suelo una vez concluido el ensayo, se encontraron diferencias significativas en el pH, potasio, manganeso y bacterias solubilizadoras de fósforo, seguidamente se presentan las diferencias significativas en el nivel de nutrientes de cada tratamiento en la **Figura 2**.

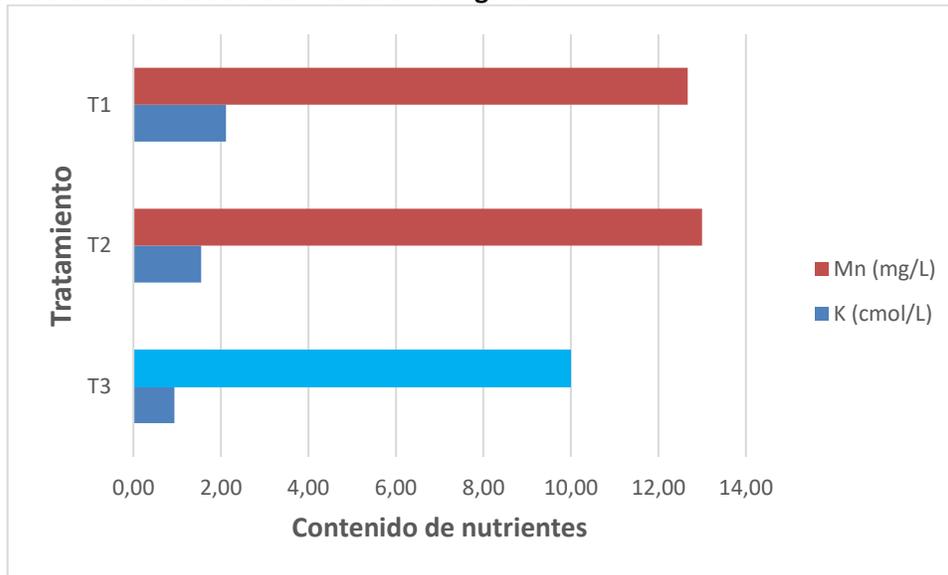


Figura 2. Contenido de potasio (K, cmol/L) y manganeso (Mn, mg/L).

Fuente: elaboración propia a partir de Tabla 2.

Al realizar el análisis estadístico a los resultados del análisis microbiológico en el suelo, se encontró diferencia significativa entre cada tratamiento en cuanto a los solubilizadores de fósforo como se observa en la **Figura 3** (barras con igual color no difieren a un nivel $p=0,05$).

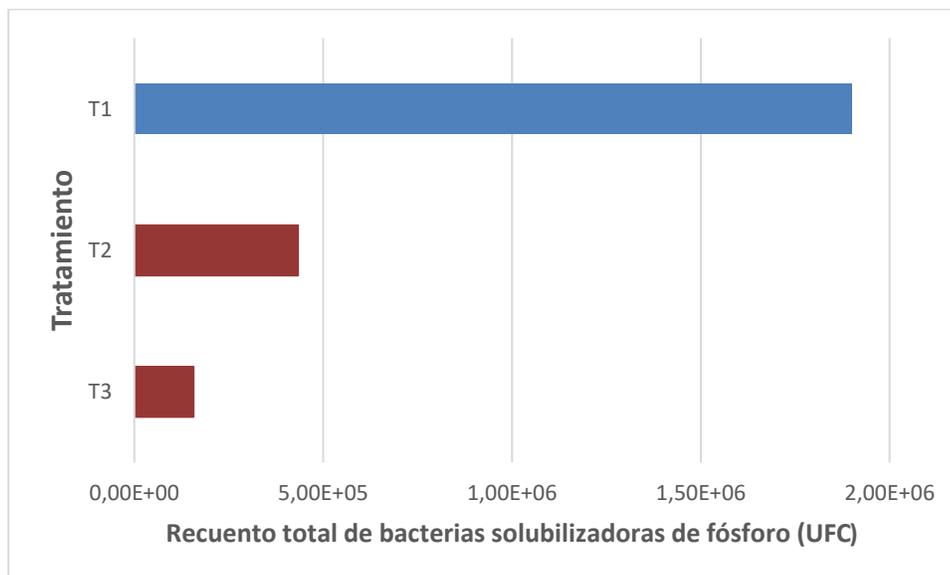


Figura 3. Recuento de solubilizadores de fósforo en cada tratamiento.

Fuente: elaboración propia a partir de Tabla 4.

Respuesta del uso del lixiviado de composta de café sobre el desarrollo vegetativo

A partir de los resultados de las mediciones, se puede identificar diferencias en los datos correspondientes a la altura de los diferentes tratamientos, observándose un crecimiento similar en los tres tratamientos hasta las 2 semanas; sin embargo, a partir de esa semana se da un mayor crecimiento en los T1 y

T2, en comparación con el T3 el cual corresponde al testigo sin lixiviado de compost, como se puede ver en la **Figura 4**.

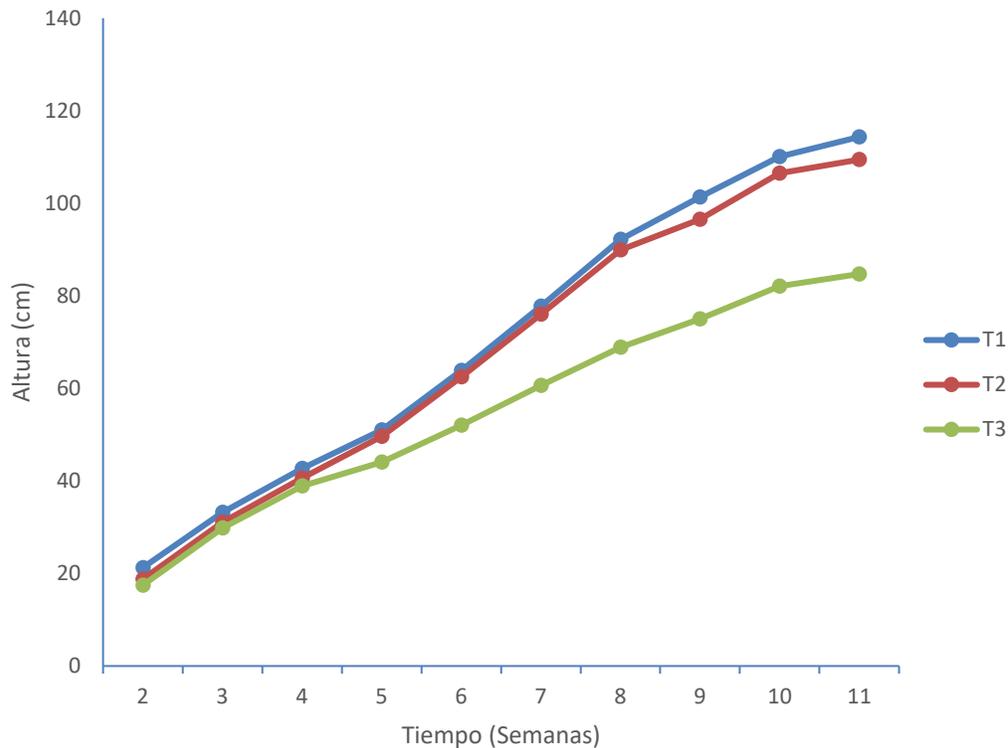


Figura 4. *Altura media (en centímetros de las plantas) durante el período de estudio.*

Fuente: elaboración propia a partir de Tabla 5

A partir de la séptima semana, se encuentran diferencias en el desarrollo del T1 con respecto al T2, ya que en el primero se da un mayor crecimiento, lo cual se relaciona con la concentración de lixiviado, ya que el T1 fue tratado con el doble de compost que el T2 para producir lixiviado más concentrado, por lo que al observar los resultados de altura de las plantas en los diferentes tratamientos en la semana 11, se puede ver que el tratamiento 1 alcanzó una altura promedio de 114 centímetros, el tratamiento 2 alcanzó una altura de 109 y el tratamiento 3 una altura de 85 centímetros.

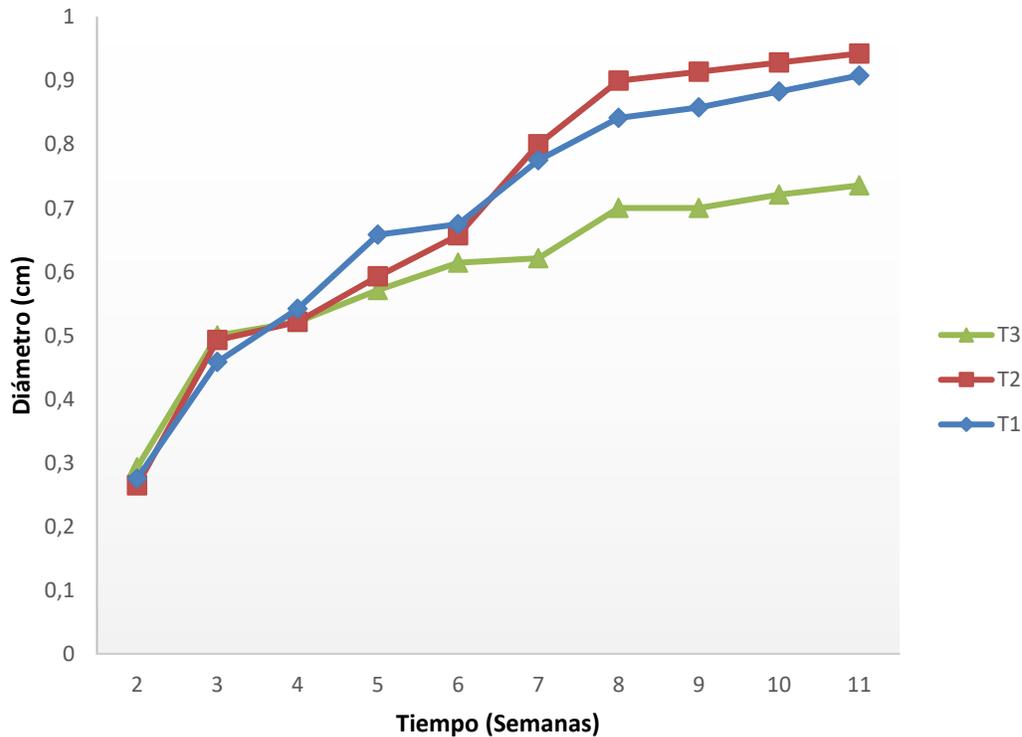


Figura 5. *Diámetro medio (en centímetros) de las plantas durante el período de estudio.*
Fuente: elaboración propia a partir de Tabla 5.

Al observar los resultados, se puede ver como a partir de 4 semanas, los tratamientos T1 y T2 que contenían el lixiviado de compost presentan un mayor diámetro o grosor del tallo, en comparación al tratamiento testigo T3 el cual presentó el menor diámetro, sin embargo, el grosor del tallo del T2 presentó el mayor desarrollo, a pesar de que al T1 se le aplicó el lixiviado más concentrado (**Figura 5**), dicha diferencia en el desarrollo para este proyecto no fue significativa, ya que el tallo no presenta una circunferencia perfecta, por lo que más parámetros de influencia deberían de incluirse para que sea relevante esta diferencia entre las plantas que se les aplicó el lixiviado en los tratamientos.

Al analizar estadísticamente la respuesta a la aplicación del lixiviado de composta de café sobre el desarrollo vegetativo del maíz **Tabla 5**, se observó que los tratamientos a los que se les aplicó el lixiviado presentaron diferencia significativa con el T3 sin lixiviado, en cuanto a altura y diámetro.

Tabla 5. Desarrollo vegetativo

Indicador	T1	T2	T3
Altura (cm)	70,7 ^a	68,2 ^a	55,4 ^b
Diámetro (cm)	0,69 ^a	0,70 ^a	0,60 ^b

Nota: Las letras diferentes indican diferencia significativa de un 5% para cada indicador. Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Las diferencias de pH entre tratamientos se dan porque durante el inicio del compostaje de la broza de café se liberan ácidos orgánicos, los cuales aumentan el pH. Posteriormente durante la fase de descomposición el valor del pH se vuelve a incrementar debido a la fractura de los ácidos orgánicos y el efecto alcalino de las sales inorgánicas y la materia orgánica. Por lo que el producto final del compost o sus derivados tienden a tener un pH neutro o ligeramente básico (Benavides, 2010; Ruiz et al., 2018).

Al interpretar los valores de los resultados del análisis de suelo se puede observar como el valor del pH se acerca al óptimo en el tratamiento 1, al aplicar el lixiviado de compost en la concentración más alta, mientras que en el tratamiento 2 y el tratamiento 3 o testigo los valores del pH no llegan al valor óptimo. En el T1 esto se da por que los materiales derivados del compost final como lo mencionan diferentes autores tienden a neutralizar el pH acercándolo a 7 haciendo que se produzca una mejor absorción de la mayoría de los nutrientes por el efecto alcalino de los minerales y la materia orgánica.

Al realizar el análisis estadístico del contenido promedio nutrientes o minerales en cada uno de los tratamientos **Tabla 2**, se puede relacionar el aporte de potasio con la disminución en la saturación de aluminio presente en el suelo, esto se evidencia en los T1 y T2 ya que el aumento del contenido de potasio disminuye la saturación de aluminio y acidez en comparación con el T3 o testigo, al cual no se le aplicó compost, esto se debe en parte a que el potasio que aporta el compost es una base y compite en el suelo con el aluminio que causa acidez.

El aluminio (Al³⁺) puede ser tóxico para la vegetación, la saturación de aluminio indica acidez debido a que este elemento es precursor de acidez, el valor de la acidez o saturación de aluminio se puede mejorar mediante enmiendas, para equilibrar la concentración de iones hidronio y bases, algunas enmiendas son la dolomita y materiales orgánicos (Peña, 2017)

Al utilizar materiales orgánicos para disminuir la acidez del suelo y aportar bases, se debe tomar en cuenta que según (Zamora et al., 2017) el lixiviado con mayor contenido de potasio es el de broza de café en comparación con el de estiércol bovino el cual presentó un menor valor de este elemento.

Es importante mencionar que, al realizar un análisis químico de suelos, no se deben asumir los datos como el pH o acidez como únicos valores de la fertilidad del suelo, ya que para un estudio adecuado también es importante tomar en cuenta las propiedades microbiológicas, ya que definen las funciones del recurso suelo, respecto al agroecosistema (Peña, 2017)

Debido a lo anterior se interpretan los niveles de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo **Tabla 3** encontrándose variaciones en cada uno de los tratamientos, así entonces se encontraron valores medios o óptimos al comparar los exponentes de los valores de recuentos del T3, T2 y valores altos en el T1 los cuales superan el exponente en las UFC/ g tanto en las bacterias fijadoras de nitrógeno como en bacterias solubilizadoras de fósforo.

Los microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) pueden mostrar otras actividades de promoción de crecimiento vegetal, como la producción de hormonas tales como citoquininas. Dichas bacterias pueden ser de vida libre en el suelo o establecer relaciones simbióticas con algunas plantas, siendo capaces de adaptarse y colonizar la rizosfera de la planta favoreciendo su desarrollo debido a la solubilización de fósforo (Beltrán, 2014)

Debido a esto se puede decir que a nivel biológico el lixiviado promueve la absorción de fósforo y

desarrollo de las plantas, ya que, aunque el contenido de fósforo en el suelo no tuvo diferencia entre tratamientos **Tabla 2**, si hubo diferencias significativas en el contenido de bacterias solubilizadoras de fósforo UFC/g para cada uno de los tratamientos **Figura 3**.

Al realizar el análisis biológico se observaron variaciones entre tratamientos y diferencias significativas entre los diferentes tratamientos **Figura 3**. Así entonces existieron diferencias en potasio y manganeso **Figura 2**. La variación en el contenido de manganeso entre los tratamientos se explica por la adición de este elemento con el lixiviado de compost de pulpa de café, ya que según (Zamora, et al 2017) al evaluar diferentes vermicompost el vermicompost con mayor contenido de manganeso fue el producido a partir de la broza de café superando los valores de los vermicompost a base de estiércol.

Los lixiviados de compost se producen directamente al agregar agua, siendo ricos en sustancias nutritivas y microorganismos cuando se extraen al principio del compostaje, caracterizándose por ser líquidos con una coloración oscura (Benavides, 2010).

Los beneficios de las bacterias para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces y un aporte de nutrientes básicos para el desarrollo y producción (Solano, 2016)

Debido a lo anterior se explica porque el T1 y T2 fueron los tratamientos que presentaron un mayor crecimiento o altura con respecto al T3 testigo **Figura 4**, observándose así una relación entre los valores de nutrientes y microorganismos del suelo con el desarrollo de las plantas en cada uno de los tratamientos.

Los extractos acuosos de compost provocan un aumento del crecimiento y la salud de las plantas, debido a la gran diversidad de microorganismos, ácidos húmicos y nutrientes como el nitrógeno y carbono que actúan positivamente en el desarrollo de las plantas (Mac, 2018). Así entonces se puede observar que las plantas con un mayor grosor o diámetro de tallo **Figura 5** fueron las de los tratamientos a los cuales se les aplicó el lixiviado de compost.

Al realizar el análisis estadístico a cada uno de los tratamientos, se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos T1, T2 con respecto a el T3 testigo en cuanto a altura y diámetro, lo cual también se da en el caso de las bacterias solubilizadoras de fósforo y el potasio, por lo que, al aumentar su contenido en el suelo, también aumenta el desarrollo de las plantas.

REFERENCIAS

- Beltrán Pineda M. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 15(1), 101-113. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v15n1/v15n1a09.pdf>
- Benavides Arcila, K. (2010). *Caracterización microbiológica de lixiviados de materias primas para la fabricación de un compostaje de material rumial.* (Trabajo de grado para optar al título de especialista en microbiología industrial). Caldas, Colombia. <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/74/1/Karen%20Adriana%20Benavides.pdf>.
- Cantero, J; Espitia, L., Cardona, C., Vergara, C., & Araméndiz, H. (2015). Efecto del compost y lombriabono sobre el crecimiento y rendimiento de berenjena *Solanum melongena* L. *Revista de ciencias agrícolas* 32(2), 56-67. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v32n2/v32n2a06.pdf>.
- Chaves, O. (2014). *Estadística inferencial con aplicaciones a las ciencias agroforestales.* Material remedial. San José, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia.

- Chávez Porras, A., & Rodríguez González, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista academia y virtualidad*. 9(2), 90-107
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5633579.pdf>.
- Gelvez Pardo, I., Moreno Rodríguez, J., & Santos Díaz, A. (2020). *Guía de muestreo de suelo para análisis microbiológico*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA.
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404098>.
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). (2020). *Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica, Heredia, Costa Rica*.
http://www.icafe.cr/wpcontent/uploads/informacion_mercado/informes_actividad/actual/Informe%20Actividad%20Cafetalera.pdf.
- Mac, M. (2018). *Producción, aplicación y beneficios de los extractos acuosos del compostaje (té de compost)*.
<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1173/TFI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Municipalidad de Tarrazú. (2015). *Plan Municipal para la gestión integral de residuos sólidos del cantón de Tarrazú*. https://munitarrazu.cr/images/Planes_Institucionales_/PMGIRS.pdf.
- Peña Cordero, W. (2017). *Edafología del trópico*. San José, EUNED.
- Ruiz San Martín, M., Reiser M., & Hafner G. (2018). *Principios básicos del compostaje de pulpa de café*.
http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/industrializacion/Manual_compostaje_pulpa.pdf.
- Solano Pinto, Y. (2016). *Adaptación de procedimientos técnicos para el análisis microbiológico de suelos en el laboratorio ambiental y de alimentos Nancy Flórez García S.A.S.* (Trabajo de grado). Universidad de Pamplona, Pamplona Norte de Santander, Colombia.
http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/1232/1/Solano_2016_TG.pdf.
- Zamora, K., Castro, L., Wang, A., Arauz, L., & Uribe, L. (2017). Uso potencial de lixiviados y tés de vermicompost en el control del ojo de gallo del cafeto *Mycena citricolor*. *Agronomía costarricense*, 41 (1), 33-51.
<https://www.redalyc.org/journal/436/43652987003/html/>.