

PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS PARA LA NUTRICIÓN DE CULTIVOS

Dr. Juan Patishtan Pérez
Dr. Oscar Guadalupe Barrón Bravo
MC. Zeferino Vicente Hernández



Centro de Investigación Regional Noreste
Campo Experimental Las Huastecas
Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México.
Folleto Técnico Núm. MX-0-251109-33-03-14-09-043
Diciembre 2023
ISBN: 978-607-37-1598-0
Número de registro de obra: 03-2023-
120509250900-01



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigaciónes
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

SECRETARÍA DE AGRICULTURA GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL

Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula
Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural

Dr. Víctor Suárez Carrera
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador General de Desarrollo Rural

Lic. David Monreal Ávila
Coordinador General de Ganadería

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Luis Ángel Rodríguez del Bosque
**Encargado del Despacho de los Asuntos de la Dirección General
del INIFAP**

Dr. Alfredo Zamarripa Colmenero
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Dr. Luis Ortega Reyes
Coordinador de Planeación y Desarrollo

Lic. José Humberto Corona Mercado
Coordinador de Administración y Sistemas

Lic. Dante Schiaffini Barranco
Titular de la Dirección General Adjunta de la Unidad Jurídica

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORESTE

Ing. Florencio Antonio González de la Fuente
Director Regional del CIR-Noreste

Dr. Ulises Santiago López
Director de Investigación, Innovación y Vinculación

C.P. José Cruz González Flores
Director de Administración

Dr. Reinaldo Méndez Aguilar
Jefe del Campo Experimental Las Huastecas

PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS PARA LA NUTRICIÓN DE CULTIVOS

Dr. Juan Patishtan Pérez

**Investigador del Programa de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal
Campo Experimental Las Huastecas**

Dr. Oscar Guadalupe Barrón Bravo

**Investigador del Programa de Salud Animal
Campo Experimental Las Huastecas**

MC. Zeferino Vicente Hernández

**Prestador de Servicios Profesionales en el
Campo Experimental Las Huastecas INIFAP**

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y
PECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORESTE
CAMPO EXPERIMENTAL LAS HUASTECAS
VILLA CUAUHTÉMOC, ALTAMIRA, TAMAULIPAS, MÉXICO
DICIEMBRE 2023

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Av. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Alcaldía Coyoacán, C. P. 04010 Ciudad de México.
Teléfono (55) 3871-8700

PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS
PARA LA NUTRICIÓN DE CULTIVOS

ISBN: 978-607-37-1598-0
Folleto Técnico Núm. MX-0-251109-33-03-14-09-043
Número de registro de obra: 03-2023-120509250900-01

Primera Edición 2023

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la institución.

Hecho en México

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	3
Agricultura sustentable con bioinsumos.....	3
ABONOS ORGÁNICOS: del desafío ambiental a valiosos subproductos.....	4
Nutrientes y microorganismos benéficos en lixiviados.....	5
Identificación de lixiviados.....	8
Fases de compostaje.....	9
Recolección de residuos orgánicos para el compost	12
Infraestructura y técnicas para pequeñas biofábricas de lixiviados	13
Infraestructura de biofábrica comercial de lixiviados...	15
Mezcla de bioinsumos para la producción de lixiviados.....	16
Producción de lixiviados de compost	19
Técnicas y condiciones para la producción de lixiviados con lombrices	20
Condiciones para un lombricario	21
Producción de lixiviados de vermicompost	22
Almacenamiento de lixiviados y etiquetas	24
Diluciones y conductividad eléctrica de lixiviados	27
Mediciones de conductividad eléctrica en lixiviados ...	28
Preparación de solución nutritiva con lixiviados	29
Cálculo del porcentaje de lixiviado para alcanzar una concentración deseada	30
USOS DE LIXIVIADOS EN LA AGRICULTURA	31
Germinación de semillas y producción de plántulas con lixiviados.....	31
Aplicación de lixiviados: riego por goteo, drench y foliar	32
Casos exitosos de los lixiviados en diferentes cultivos	33
Lixiviados en la producción de maíz forrajero	34
Lixiviados en la producción de sorgo	34
Lixiviados en la producción de caña de azúcar	36
CONCLUSIONES	38
LITERATURA CITADA	39
AGRADECIMIENTOS	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Cachaza de ingenio expuesto en el ambiente	5
2	Ecosistema hipotético del suelo y sus propiedades físicoquímicas y biológicas	6
3	Lixiviados de vermicompost con color ámbar claro y lixiviados de compost color marrón oscuro.....	9
4	Fases, tiempos, temperaturas y pH de compostaje	11
5	Estiércol bovino, residuos de cosecha de maíz, ceniza de calderas de ingenio azucarero y tierra de monte....	13
6	Pequeñas biofábricas de lixiviados de compost y vermicompost.....	14
7	Biofábrica de concreto con capacidad de 1700 litros de bioinsumo saturado	15
8	Proceso de medición y mezcla de bioinsumos lixiviados de compost.....	17
9	Mezcla y saturación de bioinsumos	18
10	Recirculación de lixiviados en compostero y pileta de concreto	19
11	Lombricarios con capacidad de 100 litros de compost.	20
12	Lombrices rojas californianas <i>Eisenia fetida</i>	23
13	Separación de lombrices. Migración de lombrices y cribado exterior de lombrices	24
14	Almacenamiento de lixiviado en tinacos de plástico....	25
15	Etiquetas de lixiviados del sureste a noreste de México.....	26
16	Lixiviados de vermicompost y compost a una concentración de 100 %	27
17	Diluciones de lixiviados a diferentes porcentajes y lectura de conductividad eléctrica	29
18	Conductividad eléctrica de lixiviados de compost y Vermicompost.....	30
19	Semillero de chile serrano y caña de azúcar	31
20	Aplicación de lixiviados a través del sistema de riego por goteo y saturado.....	33
21	Aplicación de lixiviados a través de un dron T30.....	33
22	Biomasa de maíz a los 55 días después de siembra.....	34
23	Sorgo en fase de llenado de grano a una densidad de 200 mil plantas ha ⁻¹	35
24	Rendimiento de sorgo a diferentes dosis de lixiviados.	36
25	Altura de tallos, número de canutos y peso de tallos molederos de la variedad CP 72-2086 en ciclo planta...	37
26	Contenidos de azúcares totales de la caña de azúcar a una edad de nueve y diez meses.....	37

PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS PARA LA NUTRICIÓN DE CULTIVOS

Dr. Juan Patishtan Pérez¹
Dr. Oscar Guadalupe Barrón Bravo²
MC. Zeferino Vicente Hernández³

INTRODUCCIÓN

En el contexto contemporáneo de la agricultura caracterizada por la creciente consideración de la sostenibilidad ambiental, la investigación de estrategias avanzadas se torna esencial para optimizar la gestión de los recursos, conservar, regenerar los suelos y mejorar la calidad de los cultivos. En esta perspectiva, la adopción de lixiviados como bioinsumos emerge como una opción viable para fomentar la eficiencia agrícola y la conservación del entorno.

Los lixiviados, productos secundarios de los procesos de compostaje y vermicompostaje, albergan una combinación diversificada de elementos esenciales y microorganismos benéficos, lo que los convierte en un recurso valioso para mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, enriquecer la nutrición y conservar la sanidad de los cultivos.

La producción y uso de lixiviados conlleva la posibilidad de reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos, lo

¹ Investigador del Programa de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Campo Experimental Las Huastecas. CIR-Noreste, INIFAP.

² Investigador del Programa de Salud Animal. Campo Experimental Las Huastecas. CIR-Noreste, INIFAP.

³ Prestador de servicio profesional en el INIFAP-Las Huastecas.

que potencialmente contribuye a atenuar los impactos adversos asociados a su utilización excesiva en términos de alteración ambiental.

Este folleto detalla las generalidades, procesos de producción de lixiviados de compost y vermicompost, así como la aplicación de estos bioinsumos en diferentes cultivos.

Se procederá a presentar su composición en términos nutricionales y microbiológicos, así mismo a evaluar los protocolos óptimos para su recolección, almacenamiento y aplicación en distintas fases del cultivo.

En última instancia, el uso de lixiviados como bioinsumos no solo podría marcar una evolución en la forma en que se cultivan los alimentos, sino que también podría representar un paso adelante en la construcción de sistemas agrícolas que sean verdaderamente regenerativos y amigables con el ecosistema global.

Antecedentes

Agricultura sustentable con bioinsumos

Actualmente, se enfrenta al desafío de adoptar bioinsumos respetuosos con el ambiente para impulsar la rentabilidad y la sustentabilidad de los cultivos y sistemas de producción. Sin embargo, para llevar a cabo esta transformación es necesario superar una serie de obstáculos claves. En este sentido, una infraestructura adecuada y bien adaptada permitirá aprovechar al máximo las ventajas de estos bioinsumos. Más aún, es esencial establecer y aplicar normas y procedimientos rigurosos que garanticen la calidad de los productos agrícolas. Por último, la capacitación especializada y la información correcta juegan un papel crucial para dominar la producción y el uso eficiente de estos recursos. A lo largo de este folleto, se detalla cada uno de estos aspectos, proporcionando información valiosa y herramientas prácticas para impulsar la producción y uso de lixiviados.

ABONOS ORGÁNICOS: del desafío ambiental a valiosos subproductos

A lo largo de la historia, las civilizaciones como los sumerios, egipcios, chinos y muchas otras culturas han empleado diversas técnicas para utilizar abonos orgánicos (Morrison & Cozatl-Manzano, 2003; Prabhuji *et al.*, 2021). Para dichos abonos se utilizan principalmente los residuos de origen vegetal o animal, ya que si no se disponen adecuadamente pueden representar un desafío ambiental. Al filtrarse, contaminan y deterioran suelos, aguas libres y subterráneas, mientras que su exposición en la superficie provoca focos de infección, así como la liberación de dióxido de carbono (CO_2), (Bernal *et al.*, 2009), al acelerar el efecto invernadero (Figura 1). No obstante, estos residuos tienen el potencial de ser transformados en valiosos subproductos, como los lixiviados.



Figura 1. Cachaza de ingenio expuesto en el ambiente.

Nutrientes y microorganismos benéficos en lixiviados

El lixiviado es un líquido residual que se escurre del compostero o lombricario y se recolecta y recircula durante el proceso de descomposición. Este líquido contiene elementos minerales y microorganismos benéficos en solución, lo que lo convierte en una fuente valiosa de nutrición para las plantas.

El suelo es un ecosistema habitado por una amplia variedad de seres vivos, incluyendo animales, plantas y microorganismos, todos los cuales se ven influenciados por las características físicas y químicas del suelo en el que se encuentran (Figura 2). La aplicación de lixiviados puede mejorar tanto las propiedades fisicoquímicas como biológicas del suelo.

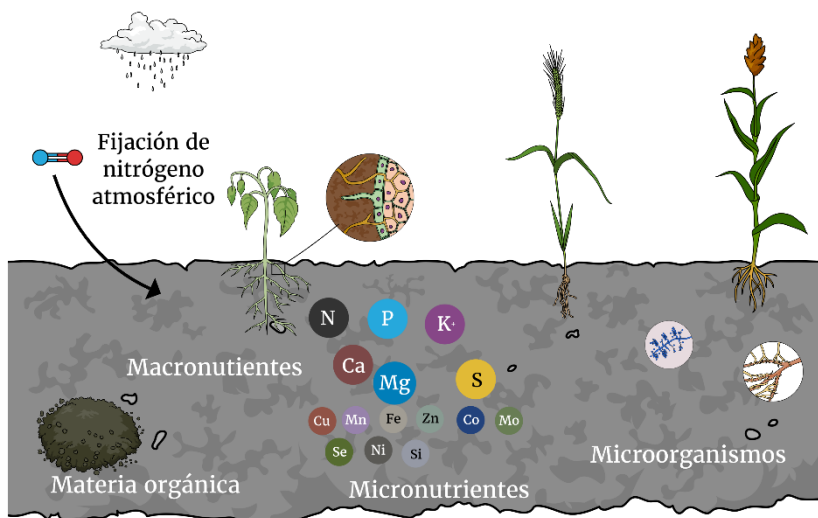


Figura 2. Ecosistema hipotético del suelo y sus propiedades fisicoquímicas y biológicas (Maathuis, 2013; Sharma & Kumar, 2023).

Las pruebas de laboratorio y medidores portátiles han cuantificado la concentración de macro y microelementos de lixiviados de compost y vermicompost. Nitrógeno (N) 500 partes por millón (ppm), fósforo (P) 0.54 ppm, potasio (K^+) de 3000 a 5000 ppm, calcio (Ca^{2+}) de 350 a 800 ppm, magnesio (Mg^{2+}) 60

ppm, hierro (Fe) 60 ppm, zinc (Zn) alrededor 0.05 ppm, cobre (Cu) 0.025 ppm, manganeso (Mn) 5 ppm y boro (B) 0.80 ppm son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

En este proceso, las bacterias presentes en el lixiviado (*Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, entre otras) desempeñan un papel fundamental. Una vez aplicados en el suelo, no solo fijan el nitrógeno atmosférico tales como *Azospirillum*, *Rhizobium* spp., *Azotobacter* (Gogoi et al., 2021), convirtiéndolo en una forma asimilable para las plantas, sino que también liberan fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas, sustancias que estimulan el crecimiento y la floración.

Los hongos y nematodos entomopatógenos, que también se encuentran en los lixiviados, actúan como aliados naturales en el control de plagas (Barrón-Bravo et al., 2023; González-Baca et al., 2019). Estos hongos atacan a los insectos perjudiciales, al regular su población de manera efectiva y sin recurrir a productos sintéticos nocivos en grandes cantidades.

Identificación de lixiviados

La coloración de los lixiviados puede variar dependiendo la materia orgánica, en el caso del lixiviado de compost y vermicompost, su coloración puede variar entre marrón oscuro y ámbar claro. Esta tonalidad depende también de la fase del proceso en la que se encuentre el lixiviado y de la concentración. El término "vermicompost" proviene de "vermi" que significa "lombrices" y "compost" que se refiere a la materia orgánica en descomposición. El lixiviado de vermicompost es el líquido que se genera durante el proceso de compostaje de materia orgánica con la presencia de lombrices (Figura 3).

Un lixiviado de compost maduro de buena calidad no debe emitir olores fétidos. Es importante destacar que ambos tipos de lixiviados deben diluirse en agua antes de ser utilizados, esto con el fin de evitar toxicidad por altas concentraciones de los elementos que contienen.



Figura 3. Lixiviados de vermicompost con color ámbar-claro (izquierda) y lixiviados de compost color marrón-oscuro (derecha), respectivamente.

Fuente propia

Fases de compostaje

En el proceso de compostaje para lixiviados, se pueden identificar cuatro fases distintas (Haug, 2018). La primera fase se denomina la mesofílica, que abarca aproximadamente de dos a cinco días. Sin embargo, esta fase puede durar hasta treinta días dependiendo de los tipos de bioinsumos.

Por ejemplo, partículas fibrosas y grandes. Las condiciones ambientales también pueden modificar el periodo de la fase mesofílica. Durante esta etapa, se pueden observar restos grandes de insumos orgánicos en el compost. La temperatura puede alcanzar

alrededor de 40 °C debido a la actividad de bacterias aerobias-mesófilas adaptadas a temperaturas intermedias de 25 a 40 °C. Estas bacterias se encargan de degradar azúcares y aminoácidos presentes en el compost. En esta fase, el pH del sustrato puede acidificarse temporalmente (Figura 4).

Una vez finalizada la fase mesofílica, comienza la fase termofílica, que tiene una duración de aproximadamente de una a tres semanas. Durante esta etapa, los actinomicetos y hongos presentes en el compost se encargan de degradar ceras, polímeros y hemicelulosa. Esto genera un aumento significativo en la temperatura, llegando a alcanzar alrededor de 65 °C. El pH del sustrato se sitúa entre 7 y 8, creando un ambiente favorable para la polimerización y la formación de ácidos fúlvicos (Figura 4). Después de la fase termofílica, sigue la fase mesofílica de enfriamiento. En esta etapa, las bacterias mesófilas vuelven a estar activas y continúan degradando polímeros presentes en el compost. El pH del sustrato se mantiene alrededor de 7 y la duración de esta fase es aproximadamente de dos a cinco semanas (Figura 4), (Bohórquez Santana, 2019; Haug, 2018).

Por último, llega la fase de maduración del compost. Esta etapa puede durar de 3 a 6 meses y ocurre a temperatura ambiente con un pH neutro, alrededor de 7. Durante la maduración, los procesos biológicos y químicos se estabilizan, y el compost adquiere sus características finales, en esta fase es donde se

Producción de lixiviados para la nutrición de cultivos

sintetizan los ácidos húmicos y fúlvicos que son macromoléculas que mejoran las propiedades físicas de suelos y nutren a las plantas (Figura 4).



Figura 4. Fases, tiempos, temperaturas y pH de compostaje.

En resumen, las fases del compostaje para lixiviados son la mesofílica, la termofílica, la mesofílica de enfriamiento y la de maduración. Cada una de estas etapas desempeña un papel crucial en la descomposición y transformación de los materiales orgánicos.

Recolección de residuos orgánicos para generar el compost

Para esta práctica, se requieren los siguientes materiales: una pala, un azadón, una carretilla y varios costales. Los residuos orgánicos utilizados deben de estar disponibles lo más cercano posible a las pilas de compost para evitar costo por flete. En el caso de sistemas de producción bovina, se puede aprovechar la bovinaza (estiércol), que se encuentra principalmente en los corrales donde se concentra el ganado.

En sistemas semi-estabulados, donde el ganado duerme en corrales, el estiércol se encuentra pisoteado y pulverizado en cierta medida, lo que facilita su recolección con la ayuda del azadón y la pala. Posteriormente, se llenan varios costales y se transportan hasta las pilas de pre-compost. También se pueden recolectar cenizas, tierra de monte, residuos de cosecha, harina de rocas, residuos de pastos de jardín, cascarilla de café, arroz, cartón, papel de oficina y entre otros (Figura 5).

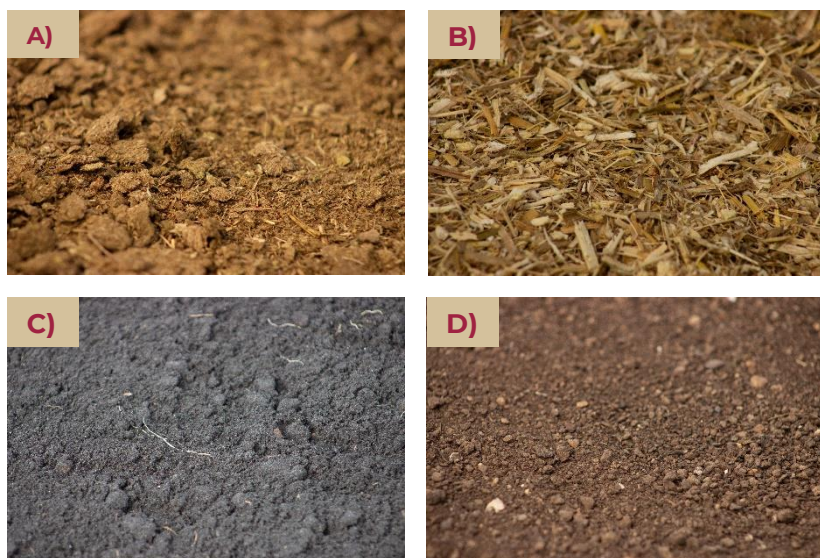


Figura 5. Estiércol bovino (A), residuos de cosecha de maíz (B), ceniza de calderas de ingenio azucarero (C) y tierra de monte (D).

Infraestructura y técnicas para pequeñas biofábricas de lixiviados

Para pequeñas biofábricas de lixiviados, se puede utilizar una base (tarima) de 105 cm² a una altura de 50 cm con un soporte de tabiques, blocks o ladrillos. Para un lombricario o compostero, se puede utilizar un tambo de 220 litros cortados a la mitad lateralmente. Cada compostero deberá tener una pendiente de ~6 % que puede ser elevada con una tabla. Una característica de este tipo de composteros es que cuentan con dos orificios para usarlos como salida de los lixiviados que pueden ser recolectados con botes o garrafas (Figura 6).



Figura 6. Pequeñas biofábricas de lixiviados de compost y vermicompost.

Estos contenedores son relativamente económicos y de uso común, lo que los hace fáciles de obtener y de cortar. Para llevar a cabo este corte, se requieren los siguientes materiales: un marcador permanente, una regla de madera de 1.20 m, una segueta manual o sierra eléctrica, un cuchillo afilado y un martillo para el corte de las esquinas que regularmente son más rígidas y difíciles de cortar.

Para comenzar se traza una línea recta en el tambo, se marca el punto medio con la ayuda de la regla y el marcador. Asimismo, se marca la parte inferior, superior y los laterales del tambo. Una vez trazado el corte, se procede a cortar las esquinas. Obtenidas las dos

mitades del tambo, es necesario lavarlas para eliminar cualquier residuo que puedan contener.

Infraestructura de biofábrica comercial de lixiviados

Para el establecimiento de una biofábrica de lixiviados de compost a escala comercial, se puede comenzar con el armado del tanque de almacenamiento. Por otra parte, para un contenedor relativamente grande, se puede construir una pileta de concreto de 1.2 m de ancho (tres blocks) y 2.4 m de longitud (seis blocks) y una altura de 60 centímetros. Esta pileta tiene una capacidad de 1700 litros de bioinsumo saturado (Figura 7).



Figura 7. Biofábrica de concreto con capacidad de 1700 litros de bioinsumo saturado.

Mezcla de bioinsumos para la producción de lixiviados

La cantidad de bioinsumos utilizados para producir lixiviados puede variar entre biofábricas. La mezcla de estos bioinsumos se estima en función de los recursos disponibles en la región. En evaluaciones realizadas, se han identificado las cuatro fases de compostaje y registrado una conductividad eléctrica de 22 deciSiemens por metro (dS/m) que son indicadores de calidad.

Para obtener lixiviados con estas características, se recomienda usar residuos de cosecha (25 %), tierra de monte (20 %), estiércol (30 %), ceniza (10 %) y abono orgánico de sangre/estiércol de bovino, heno de pasto y rumen (15 %), (Figura 8).

Producción de lixiviados para la nutrición de cultivos



Figura 8. Proceso de medición y mezcla de bioinsumos lixiviados de compost.

Es importante destacar que las cantidades de los bioinsumos se miden en base a volumen debido que tienen distintos niveles de humedad. Para lograr una mezcla homogénea, los bioinsumos se mezclan con palas y bielos. Posteriormente, se humedecen con agua no clorada y 1 kg de melaza por cada metro cúbico y se satura el sustrato con una regadera de jardín o manguera (Figura 9).

Recomendaciones para el proceso: Evitar partículas demasiado pequeñas para prevenir compactación. Airear manual o mecánicamente para evitar altas temperaturas y pH ácido. Mantener la humedad entre

Producción de lixiviados para la nutrición de cultivos

50 y 60 % y una buena aireación entre 5 y 10 % (Restrepo, 2007). Hacer el montículo lo más alto posible para que el proceso se lleve a cabo adecuadamente. Para mejorar la oxigenación y promover la disipación del calor, se instalan tubos de PVC con longitudes de 90 y 95 centímetros y un diámetro de 6 pulgadas, los cuales cuentan con perforaciones en hileras a intervalos de 5 centímetros y en un total de 8 filas.



Figura 9. Mezcla y saturación de bioinsumos.

Producción de lixiviados de compost

Para iniciar la producción de lixiviados, primero se seleccionan bioinsumos disponibles y fáciles de conseguir. Así como microorganismos benéficos tales como *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Beauveria*, *Trichoderma* que puedan acelerar la descomposición de la MO, disolución de fósforo y potasio.

El lixiviado debe recircularse al menos una vez por semana hasta que el proceso de compostaje esté completo (Figura 10). Una vez finalizado el proceso, se retira el compost del contenedor y se tamiza. Si hay restos que aún pueden compostarse, se vuelven a depositar al contenedor. Mientras que los restos no compostables se descartan. Por último, el lixiviado se almacena y el compost maduro se puede incorporar a la parcela agrícola.



Figura 10. Recirculación de lixiviados en compostero (A) y piqueta de concreto (B).

Técnicas y condiciones para la producción de lixiviados con lombrices

Un lombricario es un espacio destinado a compostar y criar lombrices para producir lixiviados. Algunos sinónimos del lombricario son: vermicompostera, compostera de lombrices, criadero de lombrices, lecho de lombrices, vivero de lombrices, granja de lombrices, entre otros. Para pequeñas biofábricas de lixiviados de vermicompost, se pueden usar tambos cortados a la mitad y utilizar uno para colocar el pre-compost, y el otro, para lombricario donde se puede obtener lixiviado de vermicompost (Figura 11).



Figura 11. Lombricarios con capacidad de 100 litros de compost.

Condiciones para un lombricario

Para garantizar un óptimo funcionamiento del lombricario, se deben considerar ciertas condiciones ambientales. En primer lugar, es fundamental proporcionar una cubierta que puede ser de pasto o rastrojo, para que proteja el lombricario de la radiación solar directa, ya que las lombrices son altamente sensibles a los rayos ultravioleta, lo que podría ocasionar su muerte. Además, la cubierta ayuda a prevenir una evaporación excesiva del vermicompost.

El sombreado o techado del lombricario también resulta esencial, ya que, durante temporadas de lluvias, se evitará el sobre lixiviado. Es importante destacar que no se debe ubicar el lombricario en zonas propensas a inundaciones.

En cuanto a la temperatura, el lombricompost alcanza su óptimo rendimiento, entre 15 y 24 °C, mientras que la temperatura corporal de las lombrices debe mantenerse cercana a los 19 °C. Sin embargo, se ha observado la proliferación de lombrices a temperaturas alrededor de 36 °C en contenedores de plástico; no obstante, es probable que la tasa de apareamiento y la producción de humus no se encuentren en su máximo potencial.

Por último, para un adecuado desarrollo del vermicompost, se debe mantener la humedad, con agua no clorada, en un rango entre 75 y 80 %. Cualquier valor fuera de este nivel resulta perjudicial, afecta negativamente la producción de humus, la fecundidad y la reproducción de las lombrices. Una humedad inferior al 55 % puede ser letal para las lombrices. Mientras que el pH del lombricario debe oscilar entre 6.5 y 7.5. Para mantener estas condiciones, es recomendable mezclar el compost al menos una vez por semana por medio de pala redonda de 72 cm o cultivadora manual de tres puntas de 27 cm.

Producción de lixiviados de vermicompost

En una biofábrica de escala pequeña, se requieren dos contenedores: el primer contenedor (compostero) es para el pre-compostaje, cuyo proceso tarda aproximadamente 40 días basado en las fases de compostaje (mesofílica y termofílica). En este periodo, se habrá eliminado el látex y las sustancias fenólicas y quinonas, propias de la oxidación de estos compuestos que pueden ser tóxicos para las lombrices. Durante este tiempo, también el compost habrá pasado la fase termofílica para tener un compost de maduración intermedia para las lombrices. Posteriormente, el compost se coloca en el segundo contenedor (lombricario) con lombrices, donde ocurre el proceso de lixiviación continua, hasta observar un compost maduro y sin variación, significativa, en la CE de los lixiviados (Figura 12).



Figura 12. Lombrices rojas californianas (*Eisenia fetida*).

Un compost maduro, se puede observar de tres a seis meses, el sustrato-tierra se torna de color café oscuro. En esta fase, se debe separar delicadamente las lombrices del compost, para lo cual existen varios métodos, el primero es haciendo montículos, las lombrices se trasladarán de la parte intermedia y basal del montículo, movilizándose del compost superior a otro lugar. Por otra parte, el segundo método es la migración, al ofrecer en un montículo contiguo los desechos orgánicos donde se alimentará la lombriz en un compost de maduración intermedia. Finalmente, la tercera alternativa es el cribado exterior es muy efectivo y práctico, sin embargo, se observan daños en las lombrices en el proceso por la criba metálica. Aunque, se ha observado proliferación de las lombrices después de este proceso y continúan degradando materia orgánica en otro lombricario (Figura 13).



Figura 13. Separación de lombrices. Migración de lombrices (A) y cribado exterior de lombrices (B).

Almacenamiento de lixiviados y etiquetas

Una vez colectado el lixiviado, puede ser utilizado ese mismo día. Sin embargo, si se requiere almacenar, será necesario contenerlo en envases, garrafas y tinacos herméticos para evitar contaminación (Figura 14). Este tipo de almacenamiento promoverá la fermentación anaeróbica de los microorganismos para producir metabolitos secundarios.



Figura 14. Almacenamiento de lixiviado en tinacos de plástico.

Un buen recipiente, tanto para su recolección como conservación, puede ser de plástico sin bactericida o vidrio oscuro. No se recomienda su almacenamiento por más de cinco meses, pasado este tiempo es mejor recircularlo en el compost. Los lixiviados deben estar etiquetados con la siguiente información: número de lote, fecha de producción y caducidad, contenido de macro y microelementos, valor de la CE, pH, tipo de aplicación y dosis por hectárea para cultivos (Figura 15).



Figura 15. Etiquetas de lixiviados del sureste a noreste de México.

Diluciones y conductividad eléctrica de lixiviados

La dilución es un procedimiento mediante el cual se disminuye la concentración de los componentes del lixiviado al agregar una mayor cantidad de agua, obteniéndose así un lixiviado con una concentración que no causa fitotoxicidad a las plantas (Figura 16).



Figura 16. Lixiviados de vermicompost y compost a una concentración de 100 %.

La CE es una medida de la capacidad de un lixiviado para conducir la corriente eléctrica, y se expresa en unidades de Siemens por metro (S/m) o en deciSiemens por metro (dS/m). La CE de un lixiviado está relacionada con la cantidad de sales, iones y otros compuestos disueltos en la solución.

Cuanto mayor sea la concentración de estos elementos disueltos, mayor será la CE del lixiviado. Estas mediciones pueden realizarse con un conductímetro digital de bolsillo.

Mediciones de conductividad eléctrica en lixiviados

La medición de la concentración de lixiviados mediante un conductímetro digital es un proceso rápido y sencillo, que se debe realizar con mucha atención. Al insertar directamente el conductímetro en el contenedor del lixiviado, se obtiene una lectura que puede variar desde uno hasta valores superiores a 40 dS/m. Esta variación dependerá de los bioinsumos utilizados y de la fase de maduración del compost. A medida que se recircula el lixiviado, su concentración tiende a aumentar, pero alcanza un punto en el cual el incremento es mínimo y ya no aumentará significativamente. Los conductímetros comerciales regularmente miden de cero a 20 dS/m, al superar este rango indica error, por lo que puede ser práctico diluir al 50 % el lixiviado para la determinación de su conductividad (Figura 17).



Figura 17. Diluciones de lixiviados a diferentes porcentajes y lectura de conductividad eléctrica. *NOTA: Conductímetro modelo (EZ-9909 SP).*

Preparación de solución nutritiva con lixiviados

Una vez obtenida la CE del lixiviado, se procede a calcular el porcentaje de dilución necesario, para alcanzar una CE benéfica para las plantas. Es importante tener en cuenta que, a altas concentraciones, los lixiviados pueden ocasionar estrés osmótico e iónico, a nivel celular y tisular. Como referencia técnica, se recomienda preparar soluciones nutritivas con lixiviados que tengan una CE de 1.5 hasta 5 dS/m. No obstante, se debe tener en cuenta que ciertas plantas pueden ser sensibles o tolerantes a valores de 5 dS/m en adelante.

Cálculo del porcentaje de lixiviado para alcanzar una concentración deseada

Se ha registrado la CE de diversas fuentes de lixiviados de compost y vermicompost. Esta sección presenta un resumen de los cálculos esenciales para lograr una CE deseada. Es importante destacar que se han observado valores más elevados de CE en los lixiviados de compost, en comparación con los del vermicompost. Sin embargo, esto no es una regla general y dependerá de los bioinsumos utilizados y de la fase de compostaje en la que se encuentren (Figura 18).

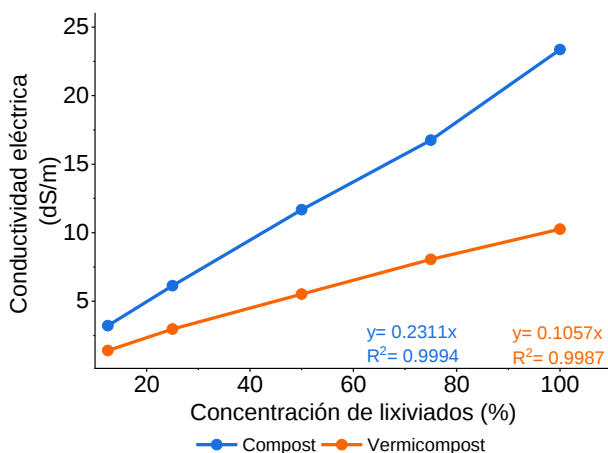


Figura 18. Conductividad eléctrica de lixiviados de compost y vermicompost.

USOS DE LIXIVIADOS EN LA AGRICULTURA

Germinación de semillas y producción de plántulas con lixiviados

Se sugiere diluir el lixiviado antes de aplicarlo directamente a las semillas, ya que esto puede favorecer el desarrollo de las plántulas (Figura 19). Un lixiviado con una CE de 23 y 10 dS/m, es recomendable diluirlo hasta alcanzar una concentración de 7 a 15 % (depende de la concentración al 100 %), se debe registrar una CE cercana a 1.5 dS/m.



Figura 19. Semillero de chile serrano (A y C) y caña de azúcar (B y D).
NOTA: Semillas regadas con lixiviados con una conductividad eléctrica de 1.5 dS/m.

En el contexto de investigación agrícola, se han llevado a cabo evaluaciones de la germinación de semillas de arroz, cártamo, chile serrano, maíz, sorgo y soya en placas de Petri utilizando lixiviados de compost y vermicompost a distintas concentraciones, específicamente a niveles de 1.5, 3, 6 y 9 dS/m. Los hallazgos obtenidos indican que las concentraciones más benéficas para el desarrollo temprano de los cultivos oscilan entre 1 y 3 dS/m. Sin embargo, en plantas de mayor biomasa se puede aplicar lixiviados con una concentración hasta alrededor de 5 dS/m.

Aplicación de lixiviados: riego por goteo, drench y foliar

En lo que respecta a la aplicación a través de saturación "drench" se han evaluado dos aplicaciones de 100 litros al 50 % en cultivos de sorgo. Mientras que en un sistema de fertirrigación, se han aplicado hasta 1250 litros en cinco aplicaciones con un volumen de riego de 133 m³ en cada sesión. Esto equivale a 0.18 % de lixiviados con una CE de 0.04 dS/m. En caña de azúcar, los lixiviados pueden ser aplicados por medio de drones, con una dosis foliar de 30 a 40 litros por hectárea, a una concentración del 100 % (Figura 21). La variación de las concentraciones de lixiviados es debido a los tipos de aplicación en los diferentes cultivos.

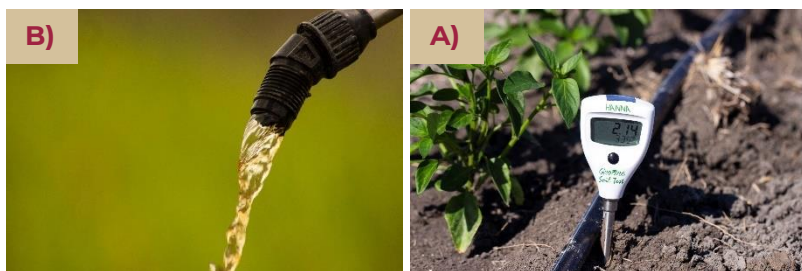


Figura 20. Aplicación de lixiviados a través del sistema de riego por goteo (A) y saturado (B).



Figura 21. Aplicación de lixiviados a través de un dron T30.

Casos exitosos de los lixiviados en diferentes cultivos

La respuesta a la aplicación de los lixiviados exhibe variaciones entre cultivos, sistemas de producción y las fases de crecimiento de las plantas. En evaluaciones

realizadas en campo abierto, se registró una correlación positiva entre el incremento de cantidad de lixiviados y la acumulación de biomasa en cultivos.

Lixiviados en la producción de maíz forrajero

A medida que se aumenta la cantidad de lixiviados, aplicados en litros, se observa un incremento en la biomasa fresca de maíz (Figura 22). Cabe mencionar que los lixiviados fueron aplicados en drench en dos eventos.

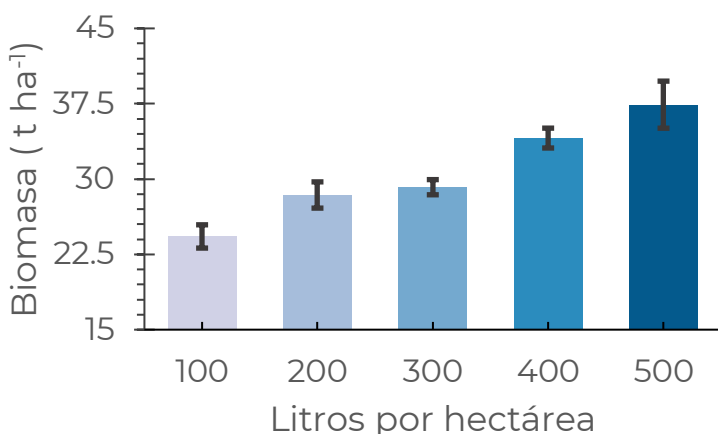


Figura 22. Biomasa de maíz a los 55 días después de siembra.

Lixiviados en la producción de sorgo

En el oriente de San Luis Potosí, se evaluó el beneficio de lixiviados en el rendimiento de sorgo. En el ciclo primavera-verano 2023, se sembró sorgo a una

densidad de 200 mil plantas ha^{-1} (Figura 23). La siembra fue en tierra venida, sin fertilización sintética y con una dosis de lixiviados de compost de 100, 200, 300, 400 y 500 litros ha^{-1} en drench. El manejo agronómico fue de acuerdo con el paquete tecnológico de sorgo del INIFAP Las Huastecas (Valadez-Gutiérrez, 2022).



Figura 23. Sorgo en fase de llenado de grano a una densidad de 200 mil plantas ha^{-1} .

Los resultados indican que a dosis de 300 y 400 litros ha^{-1} , se obtienen rendimientos entre 4.2 y 4.4 toneladas ha^{-1} . No obstante, el rendimiento fue comparable entre las dosis entre 400 y 500 litros de lixiviados por ha^{-1} . Los resultados muestran una tendencia de incremento de rendimiento, aplicando hasta 400 litros por hectárea (Figura 24).

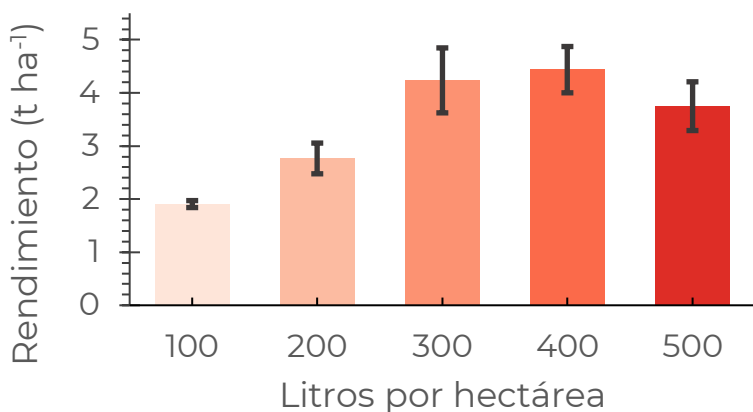


Figura 24. Rendimiento de sorgo a diferentes dosis de lixiviados.

Lixiviados en la producción de caña de azúcar

Se observó un aumento significativo en el diámetro, altura y peso de los tallos de caña de azúcar al aplicar dosis de 180-60-120 de fertilizantes sintéticos y 240 litros de lixiviados de compost a través del sistema de riego por goteo, entre los seis y diez meses de edad de las plantas. Se estimó el rendimiento mensualmente mediante el muestreo de 50 tallos recolectados de cinco puntos.

Durante los meses de muestreo, la población de tallos no mostró diferencias significativas, lo que indica que los tallos molederos se definen en los primeros seis meses. En promedio, se estimaron 118 mil tallos por hectárea. La altura de estos tallos aumentó de 1.1 a 2.4 metros entre el sexto y décimo mes, y el número de

canutos por tallo aumentó de 7.4 a 19 en el mismo período (Figura 25). Además, el peso de los tallos aumentó de 0.8 a 1.5 kg en un lapso de cuatro meses. El rendimiento estimado fue de 150 toneladas por hectárea a una edad de diez meses. Respecto al contenido total de azúcares (°Brix), este varió entre 17.5 y 18.2 a los nueve y diez meses de edad, respectivamente (Figura 26).

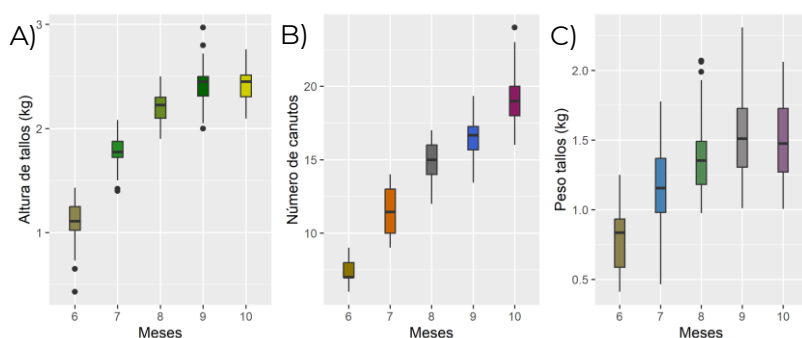


Figura 25. Altura de tallos (A), número de canutos (B) y peso de tallos molederos (C) de la variedad CP 72-2086 en ciclo planta.

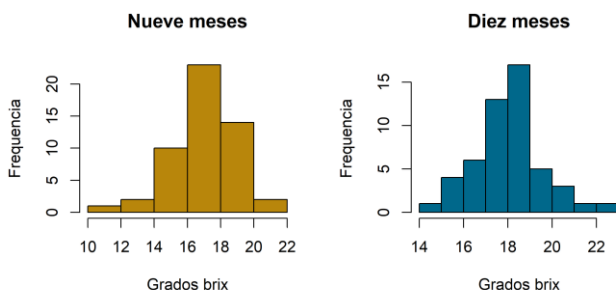


Figura 26. Contenidos de azúcares totales de la caña de azúcar a una edad de nueve y diez meses.

CONCLUSIONES

El proceso de producción de lixiviados a partir de compost y vermicompost se presenta como una opción para enriquecer mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo y nutrir las plantas. La implementación de lombricarios para la producción de lixiviados requiere condiciones óptimas de manejo, incluye sombreado, control de temperatura y humedad, así como separación cuidadosa de las lombrices. La medición de la CE, pH y elementos minerales es esencial para el beneficio nutricional de los lixiviados.

La aplicación de los lixiviados se puede llevar a cabo mediante diversas técnicas, como riego por goteo, drench y foliar, con dosis y concentraciones específicas. Los resultados demuestran correlaciones positivas entre la aplicación de lixiviados y el desarrollo de las plantas en diferentes entornos. En los resultados de investigaciones realizadas, se destaca el impacto positivo de los lixiviados en la germinación y el desarrollo de plántulas, así como en el crecimiento y rendimientos de cultivos de maíz, sorgo y caña de azúcar.

LITERATURA CITADA

- Barrón-Bravo, O. G., Cadena-Zamudio, D. A., Garay-Martínez, J., Arispe-Vázquez, J. L., Avilés-Ruiz, R., Garcés-García, R., & Patishtan-Pérez, J. (2023). Effect of coumaphos on *Rhipicephalus microplus* and entomopathogenic nematodes in cattle production units. *Agro Productividad*.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444-5453.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Bohórquez Santana, W. (2019). El proceso de compostaje (Vol. 1). Universidad de la Salle.
- Gogoi, R., Baruah, S., & Saikia, J. (2021). *Azospirillum*: A Salient Source for Sustainable Agriculture. *Biofertilizers: Study and Impact*, 309-334.
- González-Baca, G., Vargas-Madriz, H., Acuña-Soto, J. A., González-Gaona, O. J., Lázaro-Dzul, M. O., & Azuara-Domínguez, A. (2019). Distribution of entomopathogenic fungi in cultivated and noncultivated soils in Southern Tamaulipas, Mexico. *Southwestern Entomologist*, 44(1), 139-142.
- Haug, R. (2018). *The practical handbook of compost engineering*. Routledge.

- Maathuis, F. J. (2013). Plant mineral nutrients: methods and protocols. Springer.
- Morrison, B. A., & Cozatl-Manzano, R. (2003). Initial evidence for use of periphyton as an agricultural fertilizer by the ancient Maya associated with the El Edén wetland, northern Quintana Roo, Mexico. The Lowland Maya area: Three millennia at the human-wildland interface. Food Products Press, New York, 401-413.
- Prabhuji, S. K., Rao, G. P., Singh, H. B., Pande, S., & Srivastava, G. K. (2021). Role of Biofertilizers and Organic Manure in Eco-friendly Agriculture: Retrospect and Future Prospects. RASSA Journal of Science for Society, 3(3), 145-152.
- Restrepo, J. (2007). Manual práctico el A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas. SIMAS.
- Sharma, P. K. & Kumar, S. (2023). Soil Structure and Plant Growth. In Soil Physical Environment and Plant Growth: Evaluation and Management, 125-154 Cham: Springer International Publishing.
- Valadez-Gutiérrez, J. (2022). Paquete tecnológico del cultivo de sorgo.

La cita correcta de este folleto es:

Patishtan-Pérez, J., Barrón-Bravo, O.G., Vicente-Hernández, Z. (2023). Producción de lixiviados para la nutrición de cultivos. INIFAP, Campo Experimental Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México 43 p. (Folleto Técnico).

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación fue financiada con recurso de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Proyecto: “GENERACIÓN, VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE CAÑA DE AZÚCAR EN MÉXICO Y DETERMINACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE VAINILLA” No. SIGI: 1423235529.

Comité Editorial del CIR Noreste

Dra. Diana Yemilet Ávila Flores
Presidenta

Dr. Ulises Santiago López
Secretario

Dra. Kenzy Iveth Peña Carrillo

Dr. Francisco Castillo Reyes

Dr. Juan Patishtan Pérez

Dr. Rosendo Hernández Martínez

Dr. Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá Rico

Dr. Jonathan Raúl Garay Martínez

M.C. María Teresa Rivera Lozano

Vocales

Revisión Técnica

Dr. Alejandro Moreno Reséndez

Edición

Comité Editorial CIR-Noreste

Formación y diseño

Dr. Juan Patishtan Pérez

Imágenes y fotografía

Dr. Juan Patishtan Pérez

Código INIFAP

MX-0-251109-33-03-14-09-043

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en diciembre de 2023, en el Campo Experimental Las Huastecas. Km 55 carretera Tampico-Mante 89610 Villa Cuauhtémoc, Tam., México.

Publicación Electrónica disponible en
la biblioteca digital del INIFAP:

<https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/Content>

www.gob.mx/inifap



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Agrario

Centros de Investigación y Campos Experimentales del INIFAP



CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL

NOROESTE

- 1 Valle de Mexicali
- 2 Todos Santos
- 3 Costa de Hermosillo
- 4 Dr. Norman E. Borlaug
- 5 Valle del Fuerte
- 6 Valle de Culiacán

NORTE CENTRO

- 7 La Campana
- 8 Delicias
- 9 Valle del Guadiana
- 10 La Laguna
- 11 Zacatecas
- 12 Pabellón

NORESTE

- 13 Saltillo
- 14 Río Bravo
- 15 General Terán
- 16 Las Huastecas
- 17 San Luis

PACÍFICO CENTRO

- 18 Santiago Ixcuintla
- 19 Centro - Altos de Jalisco
- 20 Tecomán
- 21 Valle de Apatzingán
- 22 Uruapan

CENTRO

- 23 Bajío
- 24 Valle de México

PACÍFICO SUR

- 25 Zacatepec
- 26 Iguala
- 27 Valles Centrales de Oaxaca
- 28 Centro de Chiapas
- 29 Rosarío Izapa

GOLFO CENTRO

- 30 San Martinito
- 31 Cotaxtla
- 32 La Posta
- 33 Ixtacuaco
- 34 El Palmar
- 35 Huimanguillo

SURESTE

- 36 Edzná
- 37 Mucuchá
- 38 Chetumal

● Sede de Centro de Investigación Regional

● Campo Experimental

● Oficinas Centrales

CENTROS NACIONALES DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA

- 39 AF (Agricultura Familiar)
- 40 SAI (Salud Animal e Inocuidad)
- 41 PyMA (Fisiología y Mejoramiento Animal)
- 42 RASPA (Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera)
- 43 COMEF (Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales)
- 44 CNRG (Centro Nacional de Recursos Genéticos)

DIRECTORIO DEL CAMPO EXPERIMENTAL LAS HUASTECAS

DR. REINALDO MÉNDEZ AGUILAR

Jefe de Campo

LIC. ARELI ELIZABETH GONZÁLEZ LOREDO

Jefe Administrativo

C. FIDEL MOCTEZUMA BARRIOS

Encargado de la Jefatura de Operación

PERSONAL INVESTIGADOR

Alcalá Rico Juan Samuel Guadalupe Jesús
Ascencio Luciano Guillermo
Avilés Ruiz Ricardo
Barrón Bravo Oscar Guadalupe
Bautista Pérez Cristóbal Ervi
Felipe Victoriano Moisés
Garay Martínez Jonathan Raúl
García Rodríguez Julio César
Maldonado Moreno Nicolás
Méndez Aguilar Reinaldo
Patishtan Pérez Juan
Ramírez Meraz Moisés
Valadez Gutiérrez Juan
Zúñiga Estrada Lamberto

Oleaginosas Anuales
Oleaginosas Anuales
Carne de Rumiantes
Salud Animal
Oleaginosas Anuales
Sanidad Forestal y Agrícola
Pastizales y Cultivos Forrajeros
Oleaginosas Anuales
Oleaginosas Anuales
Hortalizas
Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal
Hortalizas
Oleaginosas Anuales
Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal

GOBIERNO DEL ESTADO DE TAMAULIPAS

DR. AMÉRICO VILLARREAL ANAYA
Gobernador del Estado

M.V.Z. DÁMASO LEONARDO ANAYA ALVARADO
Secretario de Desarrollo Rural,
Pesca y Acuacultura

DELEGACIÓN ESTATAL DE LA SADER

ING. GUADALUPE ACEVEDO GONZÁLEZ
Representante de la SADER
en el Estado de Tamaulipas



www.gob.mx/inifap

La producción y aplicación estratégica de lixiviados derivados de la descomposición de materia orgánica en compost y vermicompost desempeñan un papel fundamental en la mejora de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, para lograrlo de manera efectiva, es esencial llevar a cabo una selección meticulosa de los bioinsumos utilizados, seguir un proceso riguroso de compostaje y establecer un sistema de recirculación programada de los lixiviados. Además, se requiere un análisis preciso de la conductividad eléctrica y cálculos de dilución controlada para determinar la concentración óptima que favorezca la germinación, el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos.

En el caso de la cría de lombrices, resulta fundamental mantener condiciones óptimas que fomenten una reproducción saludable de las lombrices y un ritmo eficiente de degradación de la materia orgánica. Esto implica la regulación cuidadosa de factores como la temperatura, pH y la humedad, así como la separación meticulosa de las lombrices. Estas prácticas son cruciales para asegurar la cantidad, calidad y eficacia de los lixiviados producidos.

La información contenida en este folleto está dirigida a técnicos y productores interesados en la producción y aplicación de lixiviados en la nutrición de cultivos. Este documento proporciona una visión detallada de cómo los lixiviados pueden ser incorporados en los paquetes tecnológicos de los cultivos. Basado en datos cuantitativos y resultados de investigaciones, este folleto resalta cómo los lixiviados pueden optimizar la nutrición de los cultivos y respaldar la sostenibilidad en la agricultura, dentro del marco de una mejora constante y un enfoque en la ecoeficiencia.