



# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“Bioproceso aplicado a residuos orgánicos  
generados en el municipio de Fortín de las  
Flores, Veracruz”.**

**TESIS PROFESIONAL**

**Para obtener el Título de:**

**Licenciatura en Ingeniería Ambiental**

**Presenta:**

**Karla Mariana Rodríguez Flores**

**Director de Tesis:**

**Dra. Maribel Castillo Morales**

**Co-director de Tesis:**

**Dr. Octavio Olivares Xometl**

**Puebla, Puebla Septiembre, 2022**

# Dedicatoria

Antes que todo dedico esta tesis a Dios porque sin su guía y amor infinito este proyecto no se hubiera completado.

A mis padres Carlos Alberto Rodríguez Demeneghí y Claudia Lucrecia Flores Hernández con todo mi amor y cariño. Por poner a mi disposición las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional, por su amor inmenso y por su guía cuando más lo necesito.

A mi hermana Paola por su amor, apoyo y por todas las experiencias compartidas.

Quiero hacer una dedicatoria especial a mis tíos, primos y sobrinos quienes me apoyaron durante este proceso, escuchándome y dándome sus punto de opinión cuando lo necesitaba.

Por último, quisiera dedicar esta tesis a todos aquellos que buscan el conocimiento y se esfuerzan día a día por alcanzarlo.

# Agradecimientos

Mis infinitas gracias a Dios y a la vida que me permitieron llegar a este momento.

A mi familia sin quienes esto hubiera sido imposible, gracias por siempre ser mi motor para seguir adelante y a alcanzar una meta más.

Quiero agradecer a mis maestros, por sus conocimientos transmitidos especialmente a la Dra. Maribel Castillo Morales por su apoyo y guía en el desarrollo de esta tesis.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por haberme aceptado y permitirme adquirir conocimientos y pertenecer a una comunidad de personas maravillosas.

Y a todas aquellas personas que me han ayudado en la culminación de este trabajo.

De todo corazón muchas gracias.

## Tabla de contenido

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos .....	3
Introducción .....	6
Planteamiento del problema .....	7
Justificación .....	8
Objetivos.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos .....	10
Hipótesis .....	11
Marco teórico.....	12
El papel del suelo en nuestro entorno .....	12
Propiedades fisicoquímicas del suelo. ....	13
Residuos Sólidos Urbanos.....	16
Factores de riesgo de los residuos sólidos urbanos .....	17
Generación de RSU.....	18
Composición de los residuos sólidos urbanos.....	19
Valorización de residuos .....	21
Bioproceso .....	22
Fermentación microbiana.....	23
Digestión anaerobia.....	23
La digestión aeróbica termófila autotérmica (ATAD) .....	23
Compostaje .....	24
Frijol Ayocote .....	32
Historia .....	32
Desarrollo de la planta .....	33
Distribución .....	34

2. Metodología .....	35
2.1 Área de estudio.....	35
2.2 Muestreo .....	36
Resultados y Discusión .....	38
Recolección y pesaje de los residuos.....	38
Clasificación de los residuos en productos y subproductos.....	43
Aprovechamiento de los residuos orgánicos.....	47
Mediciones de humedad, pH y temperatura.....	49
Pruebas cualitativas .....	55
Desarrollo de frijol ayocote .....	58
Crecimiento de raíz de frijol ayocote.....	62
Conclusión .....	64
Bibliografía .....	65

# Introducción

En México se encuentra muy extendida la práctica de eliminar los residuos sólidos urbanos mediante vertederos siendo algunos de estos incontrolados. Gracias al incremento constante de la población esta práctica se ha vuelto insostenible lo que nos obliga a buscar nuevas formas para disponer los RSU.

La aplicación de nuevas estrategias para el tratamiento de residuos como son el reusar, reciclar y valorizar los materiales son fundamentales para reducir los efectos adversos y otras fuentes de recursos de las que se extraen. El uso de este tipo de estrategias aminora el gasto de energía y la necesidad de espacio para disponer finalmente los residuos.

Desde la economía, la producción de un menor volumen de RSU que requieren una disposición final reduce los costos de operación; según estimaciones de la OCDE, el monto destinado al manejo y tratamiento de residuos en los países miembro asciende a cerca de un tercio de los recursos financieros que destina el sector público para el abatimiento y control de la contaminación ([OECD, 2014](#)).

En base a los puntos anteriores la presente investigación plantea una solución a la contaminación por la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) utilizando el compostaje, para el tratamiento de residuos orgánicos y evaluar algunas propiedades del suelo de manera cualitativa.

# Planteamiento del problema

Según datos de la Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU), cada año en el mundo se recolectan alrededor de 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos. Mientras que la desintegración de la materia orgánica de los residuos sólidos representa aproximadamente 5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero.

En el año 2010, cerca del 44% de los RSU producidos en el planeta correspondieron a los países con las economías más desarrolladas pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE; Hoornweg y Bhada-Tata, 2012). Por otro lado, los países de Latinoamérica y el Caribe contribuyeron con el 12% del total, detrás de los países que integran las regiones del Pacífico y del Este de Asia.

En México, la generación de RSU (Residuos Sólidos Urbanos) alcanzó 44.6 millones de toneladas, lo que representó un aumento del 35.6% con respecto a 2003 (11.73 millones de toneladas más generadas en ese período). Si se expresa por habitante, alcanzó 0.98 kilogramos en promedio diariamente en el mismo año (SEMARNAT (ND) *Residuos Sólidos Urbanos (RSU)*).

Según el portal de la SEMARNAT durante el año 2012 en México, los residuos sólidos orgánicos representaban un 52.4%.

Desgraciadamente en su mayoría los residuos sólidos urbanos son dispuestos en “basureros” y no reciben un tratamiento previo esto genera un riesgo ambiental y a la salud pública.

El crecimiento de los residuos sólidos urbanos se ha convertido en un área de problemática que debe de verse como un área de oportunidad para disminuir, reciclar, valorizar y transformar nuestros residuos a través de la aplicación de bioprocesos como el compostaje.

# Justificación

México es un país rico en biodiversidad, cultura y gastronomía lamentablemente no lo es así en el manejo de sus residuos sólidos urbanos. La falta de una política y una cultura de prevención en la generación de residuos urbanos genera diferentes problemas entre ellos daño al medio ambiente y un riesgo a la salud pública.

Normalmente la disposición de los residuos se da en tiraderos a cielo abierto y en barrancas los cuales son sitios que no están equipados para la adecuada disposición de estos, culminando en un aumento en la contaminación del suelo, agua y aire.

Desde el punto de vista económico, un menor volumen de residuos que requieren de disposición final reduce los costos de operación; según estimaciones de la OCDE, el monto destinado al manejo y tratamiento de residuos en los países miembro asciende a cerca de un tercio de los recursos financieros que destina el sector público para el abatimiento y control de la contaminación [2]

Un buen manejo de los residuos sólidos urbanos es esencial para mitigar los efectos negativos que generan al ambiente y a la salud humana. Para esto es necesario conocer la composición de los RSU para después otorgarles una revalorización y mediante esta, crear acciones que no solo disminuyan los efectos de estos residuos, sino que además ayuden en otros aspectos ambientales como la reducción de consumo de energía, agua y la mejora del suelo.

La ODS identifica a los residuos urbanos como un recurso para la obtención de productos de valor añadido; además el uso de estos residuos se alinea con objetivos claves de la ODS como son: el ODS 7 (energía limpia y asequible), el ODS 12 (garantizar patrones de consumo y producción sostenibles), el ODS 13 (tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos) (S. Elagrouty, 2016).

La aplicación de bioprocesos en residuos urbanos favorece a los desechos orgánicos porque tienen niveles significativos de humedad que refuerzan la acción microbiana.

Mediante la aplicación de bioprocesos se obtienen diferentes productos como son: la producción de gas, producción de metano, composta entre otras. (J.M. Owens, (1993)).

# Objetivos

## Objetivo general

- Aplicación del bioproceso de compostaje en la fracción orgánica proveniente de los residuos sólidos urbanos generados en el municipio de Fortín de las Flores Veracruz.

## Objetivos específicos

- Elaborar estudio de generación de residuos sólidos urbanos
- Conocer peso volumétrico in situ (densidad) de los residuos generados
- Aplicar el bioproceso para la biodegradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos
- Aplicar en macetas del producto del bioproceso de degradación de la fracción orgánica proveniente de residuos sólidos urbanos

# Hipótesis

**Nula:** La aplicación del bioproceso de compostaje en la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos no tiene impactos positivos en su manejo y aprovechamiento, mejorando las características del suelo.

**Alternativa:** La aplicación del bioproceso de compostaje en la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos tiene impactos positivos en su manejo y aprovechamiento, mejorando las características del suelo.

# Marco teórico

## El papel del suelo en nuestro entorno

El suelo representa más que el soporte para nuestros pies, es una entidad que presenta múltiples servicios como son: el almacenamiento de carbono, el almacenamiento y el abastecimiento de agua, la biodiversidad (el suelo es donde se alberga la mayor parte de la diversidad genética del planeta), los servicios sociales (entre ellos la disposición de residuos) y culturales y el sustrato para el crecimiento de plantas. (Koch et al., 2013; FAO, 2011, Johan Boumaa, Alex Mc Bratneyb, 2013).

Desgraciadamente pese a los muchos servicios que presenta el suelo pocos conocen su importancia, esto puede ser debido a que la población se encuentra cada vez más dependiente de servicios como los mercados y cadenas que alejan al ser humano de la noción de la producción de alimentos y de su impacto en el suelo. Lo que tiene como consecuencia una falta de información y por lo tanto una falta de interés por parte de la población. (FAO, 2017; Satterthwaite, 2010).

El deterioro del suelo es uno de los mayores retos a los que nos enfrentamos actualmente como humanidad; este deterioro afecta a muchos sectores como son la agricultura que al tener suelo infértiles lleva a una búsqueda de tierras fértiles provocando deforestación o sobre explotación de suelos, aumenta los efectos del cambio climático debido a la alteración de en los ciclos de carbono, nitrógeno, sulfuro entre otros elementos y la liberación de gases de efecto invernadero y por último aumenta la velocidad de erosión de los suelos.

Una manera de aminorar y remediar los efectos negativos en el suelo es cuidando que las propiedades físicas y químicas del suelo no se vean alteradas.

## **Propiedades físicoquímicas del suelo.**

Las propiedades físicas del suelo son el resultado de la interacción de entre la mezcla de partículas orgánicas e inorgánicas, el grado de integración y su relación con el agua y el aire.

La textura del suelo es el resultado de la meteorización, que se define como la descomposición física y química de las rocas y minerales. La razón por la cual existen diferentes tipos de textura del suelo se debe a que el proceso de meteorización varía de acuerdo con el mineral o roca del que se trate. Esta propiedad influye en fertilidad, habilidad de retener agua, aireación y drenaje. (FAO, ND)

La estructura del suelo es definida como la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla generando espacios vacíos denominados poros (Bronick 2005).

La estructura del suelo se da debido a sus agregados los cuales están formados de partículas de arena, limo y arcilla. Existen diferentes tipos de formas en los agregados, los agregados de tipo granular se encuentran normalmente en el horizonte A donde se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica y de la actividad biológica, los agregados de mayor tamaño que se encuentran en forma de placas, bloques o prismas se encuentran en el horizonte B. Esta propiedad se relaciona con la porosidad la cual tiene efecto en el movimiento del agua y el aire en el suelo, lo que afecta a la resistencia del suelo contra la erosión, el secuestro de carbono y el crecimiento radicular.

Como se mencionó antes la porosidad del suelo afecta el flujo del aire y del agua que pasan a través del suelo, esto es porque los poros son el espacio que no es ocupado por sólidos. Dentro del espacio poroso se dividen entre macro poros y micro. La función de los macro poros es la de drenaje, aireación y el lugar donde se forman las raíces; mientras que los microporos retienen agua que posteriormente en parte es aprovechada por las plantas.

La densidad en el suelo puede ser real y aparente y hace referencia al peso por volumen de suelo. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo mientras que la densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas. (FAO, ND)

Otra propiedad que es conocida por afectar las condiciones del suelo son las sales inorgánicas, dependiendo de la concentración y tipo de sales se pueden clasificar como: sódicos, salinos y salino sódicos.

“Los suelos salinos contienen una gran cantidad de sales solubles, principalmente calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ), mientras que los suelos sódicos están dominados por sodio ( $\text{Na}^+$ ). Los suelos salino-sódicos tienen un alto contenido tanto de sal como de  $\text{Na}^+$ . Las sales en el suelo pueden afectar la estructura, la porosidad y las relaciones planta/agua que, en última instancia, pueden conducir a una disminución de la productividad.” (Naga Raju Maddela, 2017).

Otro parámetro importante es el potencial de hidrógeno (pH) puesto que establece el grado de absorción de iones hidrógeno por las partículas del suelo e indica si éste es alcalino o ácido. es un indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas porque influye en la movilidad y disponibilidad de constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo y también afecta el crecimiento microbiano. Los suelos muy ácidos (<5,5) tienden presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (>8,5) tienden a dispersarse. La actividad de los organismos del suelo es inhibida en suelos muy ácidos y para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6,5. (FAO, ND)

Otro complejo químico que altera diferentes propiedades químicas son los carbonatos de calcio y magnesio los cuales pueden influenciar el pH del suelo, su estructura y el paso del agua en el suelo. Por otro lado, los suelos que tienen grandes concentraciones de carbonatos sufren menos cambios en su pH ya que los carbonatos libres neutralizan los ácidos en el suelo.

Además de estas sales también se encuentra el yeso el cual normalmente se presenta en suelos semi áridos y su pH ronda entre los valores 7-8, otra característica de esta sal es que es muy lavable lo que provoca que se movilice con facilidad en los suelos generando cambios en el pH.

Por último, uno de los parámetros más importantes en el suelo es su contenido de materia orgánica.

Se considera que la materia orgánica es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición

en el que participan microorganismos. Su composición es muy variada, pues proviene de la descomposición de animales, plantas y microorganismos presentes en el suelo o en materiales fuera del predio.

La creación de la materia orgánica inicia con la mineralización del material orgánico que cambia de su forma orgánica a su forma inorgánica (minerales, solubles o insolubles). Estos minerales fluyen por la solución de suelo y finalmente son aprovechados por las plantas y organismos, o estabilizados hasta convertirse en humus, mediante el proceso de humificación. (FAO, 2013)

## Residuos Sólidos Urbanos

Según [Francisco J. André](#) en su escrito “Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas pública” se define a un residuo como algo que ya no tiene algún valor de cambio, debido a que se paga para el desecho de los residuos se puede concluir que estos tienen un valor negativo lo cual se traduce como un mal.

El residuo se compone de diferentes materiales o productos, los cuales pueden estar en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso. Los residuos de tipo sólido consisten en una masa heterogénea de materiales desechados de la comunidad urbana, así como la acumulación más homogénea de residuos agrícolas, industriales y mineros. Las principales fuentes de desechos sólidos son las residencias, los establecimientos comerciales, las instituciones y las actividades industriales y agrícolas.

Los residuos se clasifican de acuerdo con su origen y características en tres grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

Los residuos sólidos urbanos, los cuales como su nombre lo indica se generan a través de las diferentes actividades urbanas han ido en aumento debido a múltiples factores como son: el incremento poblacional, la urbanización y el cambio en los hábitos de consumo de la población.

En 2010, el país generó diariamente 109 750 toneladas de residuos sólidos urbanos, de los cuales 64 % se depositaron en rellenos sanitarios, 9 % en rellenos de tierra controlados y el restante 27 % se dispuso en sitios no controlados. La generación per cápita promedio diario es de 0.9 kg, considerando las zonas rurales con 0.4 kg y en las zonas metropolitanas con 1.5 kg. ([Secretaría de Desarrollo Social \(2011\)](#)).

## **Factores de riesgo de los residuos sólidos urbanos**

Un adecuado confinamiento o tratamiento de los RSU es necesario para evitar que estos se conviertan en focos de contaminación como de infección para la población.

Algunos de los riesgos de la generación de RSU son:

### **Contaminación de los suelos y de los cuerpos de agua**

Durante el proceso de descomposición muchos de los residuos sólidos urbanos generan lixiviados (líquidos producidos durante la descomposición). Como consecuencia de la diversidad de RSU, la composición de los lixiviados es diversa y se encuentra directamente relacionada con la naturaleza del residuo del que proviene.

Un ejemplo de esto es que, los desechos orgánicos producirán lixiviados de características muy diferentes a aquellos que se generan por la fuga de los materiales con que se elaboran las pilas. (SEMARNAT,2015)

Aun pudiendo tratarse de lixiviados que tengan un origen orgánico o inorgánico, la composición y cantidad presenta un posible riesgo para la afectación negativa del suelo y cuerpos de agua cercanos (subterráneos como superficiales), trayendo como consecuencias problemas como la acidificación, eutrofización y toxicidad (Allen, 2001; Torres et al., 2011)

### **Generación de biogases**

Los sitios de confinamiento de RSU son importantes generadores de biogases, algunos de los gases que se producen son gases de efecto invernadero (GEI). Algunos de estos gases que se presentan en una mayor proporción son: el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mientras que los que se producen en cantidades limitadas son el nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ), y en cantidades traza, monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), hidrocarburos aromáticos y cíclicos y un grupo de gases conocidos como compuestos orgánicos volátiles (COV) (SEMARNAT, 2015).

La generación de biogases tiene diferentes efectos como son problemas ambientales, aumento de la temperatura y malos olores. Además, varios gases como son el NH<sub>4</sub>, CO y el CO<sub>2</sub> tienen un efecto perjudicial a la salud humana.

### **Propagación de fauna nociva y transmisión de enfermedades**

Un mal almacenamiento, aprovechamiento o disposición de RSU, crea una fuente de recursos y refugio a diversos grupos de microorganismos, los que pueden llegar a ser nocivos para el ser humano. Siendo fuente directa de infecciones o al ser vectores de los organismos que las provocan.

“Los insectos, tales como moscas, cucarachas, pulgas y mosquitos pueden ser vectores de enfermedades como diarrea, tifoidea, paludismo, giardiasis y dengue. Las ratas pueden diseminar peste, tifus y leptospirosis y las aves toxoplasmosis, por lo que el tratamiento de los residuos debe considerar la reducción de este tipo de organismos” (Hernández-Rejón, 2014)

### **Generación de RSU**

De acuerdo con la cifra publicada en el año 2015, la generación RSU alcanzó 53.1 millones de t, lo que representó un aumento del 61.2% con respecto a 2003. Mientras que la generación per cápita alcanzó 1.2 kg en promedio diariamente durante el mismo año.

De acuerdo con la regionalización de la Sedesol, en 2012 la región Centro concentró el 51% de la generación de RSU, le siguió la región Frontera Norte con 16.4% y el Distrito Federal (Conocido actualmente como Ciudad de México) con el 11.8%.

En el año 2012 se clasificaron a las entidades federativas según el volumen de los RSU producidos, cinco de estas entidades concentraron el 45.7% de los residuos, las cuales fueron: el estado de México (6.7 millones de ton.; 16.1% del total nacional), Ciudad de México(4.9 millones de ton.; 11.8%), Jalisco (3.1 millones de ton.; 7.2%), Veracruz (2.3 millones de ton.; 5.5%) y Nuevo León (2.2 millones de ton.; 5.1%); mientras que las que registraron los menores volúmenes fueron Nayarit (347 mil ton.; 0.82%), Tlaxcala (339 mil ton.; 0.81%), Campeche (272 mil ton.; 0.65%), Baja California Sur (259 mil ton.; 0.62%) y Colima (228 mil ton.; 0.5%).

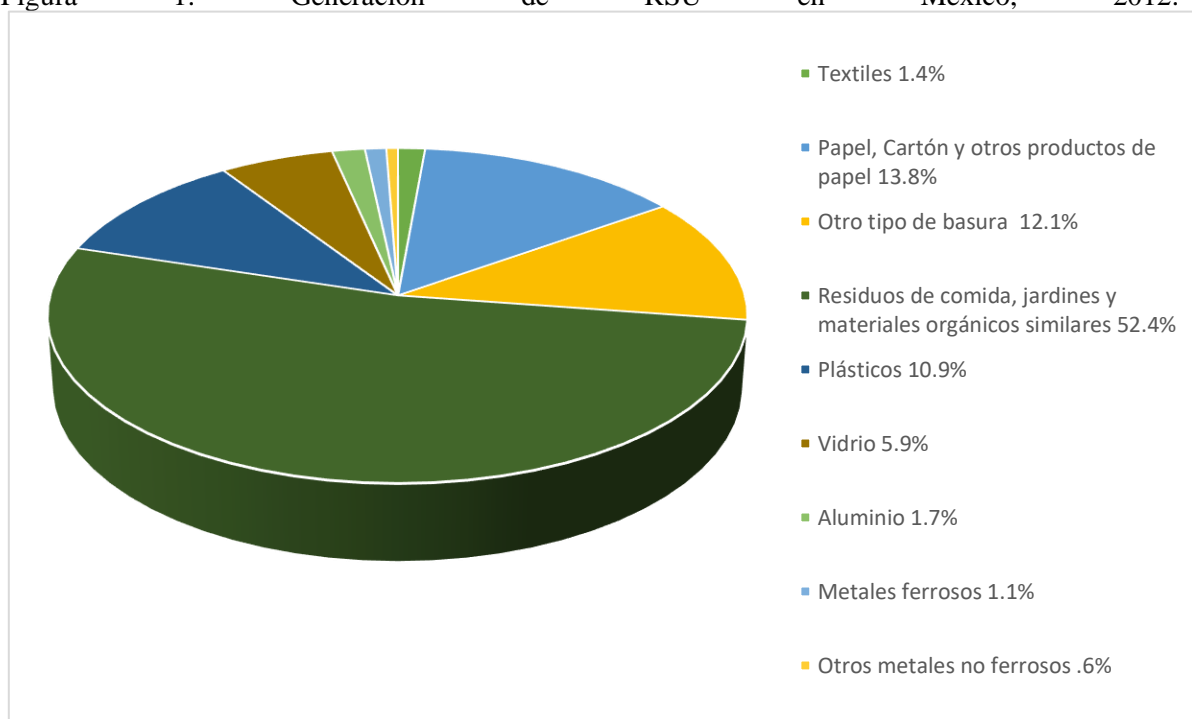
## Composición de los residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos se dividen en dos grandes categorías orgánicos e inorgánicos. Generalmente la predominancia de alguno de estos grupos es el resultado de la condición económica de la población.

En los países con menores ingresos dominan los de composición orgánica, mientras que en los países con mayores ingresos los residuos son principalmente inorgánicos, con una cantidad importante de productos manufacturados (Acurio, 1997).

Actualmente México se encuentra en la conversión hacia una composición con una menor predominancia de residuos orgánicos; un ejemplo de esto es que, en la década de los años 50, el porcentaje de residuos orgánicos oscilaba entre 65% y 70% de su volumen, mientras que en 2012 esta cifra se redujo a 52.4%.

Figura 1. Generación de RSU en México, 2012.



Fuente: Dirección General De Equipamiento E Infraestructura En Zonas Urbano-Marginadas, SEDESOL. México 2013

Según el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales (INEGI, 2013), del volumen total reciclado en el país en 2012, el mayor porcentaje correspondió a papel, cartón y productos de papel (32%), seguido por el PET (15.8%), vidrio (13.8%), plásticos (9.2%), metales (7.6%) y los electrónicos y electrodomésticos (5.1%). Si se considera el volumen reciclado de cada tipo de RSU con respecto a su volumen producido, los sólidos que más se reciclaron en 2012 fueron los metales (39%), el vidrio (23.5%) y el papel (14.7%). De los plásticos y textiles desechados sólo se recicla alrededor del 0.5% de cada uno de ellos

## Valorización de residuos

El aumento de la población aunado a la creciente urbanización, industrialización, ha provocado un incremento en nuestros desechos sólidos, así como la demanda de alimentos, agua y energía.

En México, así como en otros países de bajos a medianos ingresos, el flujo de residuos sólidos urbanos no se gestiona adecuadamente o en su totalidad, lo que ocasiona un daño tanto para el ambiente como un riesgo para la salud humana.

Según algunos objetivos de la ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), La recuperación y reutilización de recursos como los nutrientes, la materia orgánica, el agua y la energía contenida en los flujos de desechos orgánicos respalda la transición a una economía circular.

Si bien existe un interés creciente en los enfoques de economía circular y suficientes avances tecnológicos para la recuperación de recursos de los flujos de desechos orgánicos, el ritmo y la escala de implementación aún están rezagados (Rodríguez, (2020)).

El uso del compostaje para la valorización de residuos sólidos orgánicos representa una manera “simple” de dar valor nuevamente a los residuos; además de presentar múltiples ventajas al suelo, las cuales serán explicadas a detalle más adelante.

## Bioproceso

Un bioproceso se define como “un proceso que en el que utilizan células vivas o alguno de sus componentes, como por ejemplo enzimas, para desarrollar productos.”.

Los bioprocesos son utilizados en diferentes ámbitos entre ellos están: las industrias de las fermentaciones como son para la fabricación de alcoholes, industria química la cual se utilizan enzimas, la salud humana y animal para la creación de antioxidantes y antiinflamatorios, en la agricultura y alimentación se fabrican mediante estos biocontroladores y colorantes, en el medio ambiente los bioprocesos se usan para la degradación de contaminantes, la obtención de productos valorizables u la obtención de energía. [Catalina Rosales-López \(2019\)](#)

Existen una gran variedad de bioprocesos, los cuales se aplican a diferentes áreas como se mencionó anteriormente. Algunos de los ejemplos de bioprocesos son:

- Fermentación microbiana
- Digestión anaerobia
- Compostaje
- La digestión aeróbica termófila autotérmica (ATAD)

## **Fermentación microbiana**

La fermentación microbiana proporciona una nueva perspectiva para el aprovechamiento de residuos de alimentos en bioproductos útiles.

Según los tipos de alimentos utilizados se deben crear estrategias para llevar a cabo la fermentación para el proceso de bioconversión. Un ejemplo de esto es la fermentación en estado sólido (SSF) generalmente se aplica para el sustrato sólido para maximizar la utilización de nutrientes, mientras que la fermentación sumergida (SmF) se usa más comúnmente para el sustrato licuado ([Sadh et al., 2018](#)).

Alternativamente, se pueden producir numerosos bioproductos, incluidas proteínas, enzimas, antioxidantes y pigmentos, a través de la fermentación microbiana utilizando desechos de alimentos como materia prima cruda ([Sadh et al., 2018](#)).

## **Digestión anaerobia**

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el cual existe una ausencia de oxígeno y la materia orgánica es transformada mediante diferentes grupos de microorganismos.

El uso de consorcios bacterianos mixtos es ideal para tratar desechos sólidos heterogéneos ya que hacen posible la recuperación de diferentes productos ya sea en forma de energía o productos químicos.

Una ventaja de este proceso es que al hacer uso de consorcios microbianos existe una biodiversidad de estos, lo cual hace que sean sistemas firmes y capaces de sobrellevar microambientes estresantes.

## **La digestión aeróbica termófila autotérmica (ATAD)**

Es una de las tecnologías usadas habitualmente para el tratamiento de los lodos producidos por aguas residuales municipales. En este tipo de biorreactores las temperaturas ascienden los 50°C ya que una parte de este calor es generado por los microorganismos al consumir la materia orgánica presente en los lodos.

El principal beneficio de ATAD es su eficacia para matar organismos patógenos (Pierre Juteau, 2006).

## **Compostaje**

La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. (FAO (2022))

El compostaje consiste en la transformación aerobia de la materia orgánica por parte de diferentes tipos de agentes microbianos como bacterias y hongos. (Bohórquez Santana Wilson. (2019))

### **Tipos de compostaje**

El objetivo de la composta es nutrir su suelo para proporcionar un hábitat saludable en el que su pasto, plantas y árboles puedan prosperar.

Existen diferentes tipos de compostaje, los cuales varían de acuerdo con el proceso para la obtención de la composta y los materiales utilizados para su producción. algunos de estos son: compostaje tradicional, de estiércol y vermicompostaje.

### **Vermicompostaje**

El proceso de vermicompostaje ha sido descrito como "biooxidación y estabilización de material orgánico que involucra las acciones conjuntas de lombrices de tierra y microorganismos (mesófilos)" (Aira et al., 2002).

Las fases de vermicompostaje son la de adaptación que es el tiempo en el cual los gusanos se aclimatan al sustrato, fase hidrolítica donde la materia orgánica fácilmente degradable se descompone y por último la fase de curado donde se degrada la materia orgánica con menor facilidad para descomponerse; Benítez et al., 2000.

Los gránulos fecales de lombrices de tierra, o moldes, son diferentes de la composta tradicional en que están cubiertos con una capa de moco generada por el tracto intestinal de los gusanos. Esta capa proporciona una fuente de carbono

fácilmente disponible para los microbios del suelo y conduce a una descarga de actividad microbiana en moldes recién depositados.

### **Compostaje de estiércol**

Mezcla de defecaciones animales y materia vegetal también conocido como cama de las cuadras.

Debido a la materia prima usada (estiércol) es muy importante saber que el material a compostar está “limpio” a Fin de evitar sustancias contaminantes. también se deben de evitar materiales orgánicos ricos en micronutrientes (NPK) como puede ser la gallinaza, ya que pueden generar problemas en el proceso de compostaje y efectos perjudiciales al suelo.

### **Compostaje tradicional**

El compostaje tradicional es que se realiza mediante la descomposición termófila de

La composta tradicional ha sido ampliamente utilizada como una enmienda de mezcla para macetas en las industrias de horticultura, césped, paisajismo y viveros durante décadas (Roe, 1998), pero rara vez se usa en cultivos de campo en países industrializados.

La comunidad microbiana en la composta tradicional terminado se deriva de microbios que son termófilos facultativos y pueden sobrevivir en temperaturas mesófilas, sobreviviendo a la fase caliente formando esporas o recolonizando durante la etapa de curado mesófilo.

### **El compostaje a través de la historia**

Durante mediados del siglo XX, el primer sistema de compostaje fue introducido el cual eran hileras estáticas con contados volteos, lo que provocaba largos periodos de maduración.

El incremento exponencial en la generación de residuos, en particular los residuos sólidos urbanos (RSU), y las dificultades para el manejo de la fracción orgánica de los mismos (a menudo más de la mitad en peso), acentuó la importancia del compostaje como un sistema de manejo y valorización de residuos. (Roberto Docampo, 2013).

A principios de la década de los 80 el compostaje se convirtió en un proceso industrial lo que provocó la evolución del proceso y de las tecnologías usadas evolucionando de hileras al aire libre hasta biorreactores completamente cerrados, incluso totalmente controlados y automatizados por computadora. (Roberto Docampo, 2013)

El compostaje se puede dividir en dos tipos:

- Sistemas abiertos, los cuales se llevan a cabo al aire libre o parcialmente cerrados.
- Sistemas cerrados, se producen en ambientes cerrados donde existe un mayor control.

### **Fases del compostaje**

El compostaje es el resultado de diferentes procesos metabólicos complejos realizados por diferentes microorganismos, los que, en un ambiente aeróbico, aprovechan nitrógeno y carbono para producir biomasa.

A medida que aumenta la temperatura, los procesos metabólicos se aceleran y la velocidad de la descomposición de la materia orgánica es afectada de manera directa hasta alcanzar un punto crítico, en el cual el proceso disminuye. Esto último se debe, particularmente, a la desnaturalización de las proteínas que bloquean el metabolismo normal de los microorganismos implicados (Bohórquez Santana Wilson. (2019)).

Según estas variaciones en la temperatura durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje las cuales son:

- Fase mesófila

Es la fase inicial del compostaje normalmente se inicia con temperaturas medio ambientales, pero a causa de la actividad de los microorganismos la temperatura puede alcanzar valores de 40-45 °C.

Por otro lado, el pH presenta valores bajos de 4.0 a 4.5 debido a la descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos.

Esta fase tiene una duración de dos a ocho días.

- Fase Termófila o de Higienización.

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.

(Liana E. Pozza, Damien J. Field (2020)).

A partir de los 60°C, los hongos termófilos detienen su actividad y las reacciones de oxidación se llevan a cabo por bacterias formadoras de esporas y por actinomicetos.

Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores (Bohórquez Santana Wilson. (2019))

- Fase mesófila II o de enfriamiento

Durante esta etapa la temperatura comienza a disminuir hasta a encontrarse en valores similares a los medio ambientales. Posteriormente, se produce una colonización por microorganismos mesófilos y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración. (Bohórquez Santana Wilson. (2019)) y (Liana E. Pozza, Damien J. Field (2020)).

Durante las diferentes etapas de la composta existen variaciones de temperatura estas se encuentran en un rango de 20-70°C. Según Paul y Geesing (s. f.), también comentan que es necesario que durante un rango de diez días la temperatura se encuentre entre los 55-70°C para la eliminación de patógenos, mientras que por debajo de 20 °C, las reacciones de transformación se retrasan considerablemente.

En las pilas estáticas (sin volteo), se alcanza una menor temperatura, esto puede ser debido a la falta de oxígeno necesario para los microorganismos aerobios responsables del proceso (Bohórquez Santana Wilson. (2019))

Entre los microorganismos que ayudan en la descomposición de la materia orgánica se encuentran los microorganismos mesófilos que tienen un rango de temperatura de entre los 15 a los 40° C, por otro lado, se encuentran los microorganismos de tipo termófilo los cuales sobreviven en temperaturas desde los 40 a los 70° C.

Dependiendo de la temperatura que se encuentre en la composta determinará que tipo de microorganismos descompondrán la materia orgánica y a su vez estos microorganismos generarán un desprendimiento de calor; esto genera una variación de temperatura en la pila, el calor generado será proporcional a la masa de la pila y la pérdida de temperatura proporcionará su superficie. La temperatura también estará sujeta a las condiciones ambientales y a la adición de aire por medio de volteos o aire a presión.

### **Parámetros del compostaje**

Debido a que el compostaje es un proceso biológico el cual se lleva a cabo por medio de microorganismos, se debe de prestar atención a los diferentes parámetros que afectan su buen crecimiento. Algunos de estos factores son: **oxígeno o aireación, la humedad de sustrato, temperatura, pH y la relación C: N.**

El proceso de compostaje dependerá en mayormente de las condiciones ambientales, el método usado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar.

### **Oxígeno**

Debido a que los microorganismos responsables del proceso de compostaje son en su mayoría aeróbicos, es de vital importancia una buena saturación de oxígeno.

Según Bohórquez Santana Wilson. (2019), “La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.” Mientras que, por otro lado, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. lo que tiene como consecuencia la producción de malos olores y acidez debido a la

presencia de compuestos como metano, ácido sulfúrico y ácido acético en exceso.

Una manera de proporcionar oxígeno es por medio de volteos manuales o mecánicos, también se puede usar la aplicación de aire forzado dentro de las pilas de compostaje sin embargo el volteo es la manera más económica de proporcionar oxígeno a la composta. La aireación previene que el suelo se encharque o compacte.

## **Humedad**

Debido a que los residuos utilizados para el proceso de compostaje y las células microbianas tienen un considerable porcentaje de agua, el contenido de humedad al inicio del bioproceso debe estar alrededor del 50%. Una humedad por encima del 60% crearía condiciones de anaerobiosis lo cual aplazaría la descomposición de los restos y provocaría la producción de lixiviados y aparición de malos olores. Valores inferiores al 20% de humedad detienen las reacciones oxidativas por parte de los microorganismos. ([Bohórquez Santana Wilson. \(2019\)](#)).

## **pH**

Uno de los factores que tiene preponderancia en las reacciones bioquímicas de los microorganismos es el pH, puesto que los microorganismos cuentan con un rango de pH óptimo para favorecer su crecimiento.

El pH óptimo para el crecimiento de muchos microorganismos es una medida solo del pH extracelular. El pH intracelular debe permanecer cercano a la neutralidad para prevenir la destrucción de las biomoléculas de la célula ([Madigan et al 2009](#)).

En la fase mesófila el pH tiende a disminuir debido a la presencia de ácidos orgánicos que son el resultado de la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica. Esto coincide con [Warman, 2008](#) que menciona que el compost inmaduro exhibe valores bajos antes de la fase termófila.

En la fase termófila gracias a la utilización de ácidos orgánicos mediante la hidrólisis de proteínas generando amoníaco lo que provoca un aumento en el pH.

En la fase de enfriamiento o en la fase mesófila II el pH se estabiliza llegando a valores cercanos a la neutralidad, gracias a la producción de compuestos húmicos que se comportan como buffer o tampón. [Bueno, et al \(2008\)](#).

## **Riesgos del proceso de compostaje**

Según el manual de compostaje del agricultor escrito por la FAO en 2013 existen ciertos riesgos cuando no se llega a completar el ciclo del compostaje. Algunos de estos riesgos son:

- Fitotoxicidad.

Sucede cuando un material no completa el proceso de compostaje, esto ocasiona que el material sin compostar al contener compuestos químicos inestables como los ácidos orgánicos, resultan tóxicos para las plantas; también otro resultado de la degradación incompleta de la materia orgánica resulta en que el nitrógeno se encuentre en mayor medida en forma de amonio que de nitrato. El amonio en condiciones de calor y humedad se convierte en amoniaco lo que provoca un medio tóxico para las plantas y da lugar a malos olores.

- Bloqueo biológico del nitrógeno, o” hambre de nitrógeno”.

Ocurre en residuos orgánicos que no han alcanzado una relación Carbono: Nitrógeno equilibrada, y que tienen material mucho más rico en carbono que en nitrógeno. Al aplicarse al suelo se agotan las reservas de nitrógeno esto debido a que los microorganismos consumen el carbono presente en el material e incrementan el consumo de nitrógeno.

- Reducción de oxígeno radicular.  
Esto sucede cuando se aplica al suelo un material que se encuentra en estado de descomposición, porque los microorganismos tomarán el oxígeno presente en el suelo para continuar el proceso agotando el oxígeno y disminuyendo la disponibilidad de este para las plantas.

- Contaminación de recursos hídricos y exceso de amonio y nitratos en plantas.  
Un material con exceso de nitrógeno en forma de amonio, tiende a perderlo por infiltración en el suelo o volatilización y contribuye a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Igualmente, puede ser extraído por las plantas del cultivo, generando una acumulación excesiva de nitratos, con consecuencias negativas sobre la calidad del fruto (ablandamiento, bajo tiempo postcosecha) y la salud humana (sobre todo en las hortalizas de hoja).

## **Beneficios de la composta**

La composta es el resultado obtenido de un proceso de compostaje, este último tiene diferentes beneficios para el suelo en el que es aplicado.

- Mejora el suelo gracias a que añade materia orgánica, incrementa la fertilidad y productividad del suelo, mejora la retención de agua, favorece el desarrollo vegetal y reduce la necesidad de fertilizantes.
- Previene la contaminación ya que reduce la producción de metano en vertederos debido a la disposición final de residuos, transforma la materia orgánica y en casos específicos transforma los lodos de las plantas de tratamientos de aguas residuales.
- Contribuye a la descontaminación debido a que degrada sustancias tóxicas y retiene metales pesados
- Reduce costos ya que reducen necesidades de agua, fertilizantes y plaguicidas.
- Ayuda a la restauración de suelos degradados

## Frijol Ayocote

El cultivo de frijol en México es importante pues es uno de los alimentos que constituyen la base de la dieta en la población.

De acuerdo con (Zavala Olalde,2000) existen 5 especies de frijol que han sido domesticadas en México, estas son: *P. vulgaris*, *P. coccineus*, *P. polyanthus*, *P. acutifolius* y *P. lunatus* siendo la especie con mayor divulgación *P. vulgaris* mejor conocida por su nombre común frijol negro.

El frijol gordo o ayocote (*Phaseolus coccineus* L.), es una planta originaria de México. Su cultivo es de manera anual o bianual y de acuerdo con Hernández–Xolocotzi et al. (1979) como planta anual se siembra en monocultivo de temporal e intercalado con maíz.

Esta especie no se comercializa como es el caso del frijol negro o bayo. Sino que se vende en una producción mucho menor, a manos de pequeños agricultores principalmente.

### Historia

La práctica de la agricultura en el continente Americano data desde hace más de 30000 años (Castillo, 2004) y la práctica de la agricultura a lo largo de estos años, sustentada por la flora nativa del lugar desempeñó un papel clave en la conservación, domesticación y dispersión de las especies autóctonas que hoy conocemos.

El frijol formaba parte de la dieta de los antiguos pobladores en los tiempos precolombinos. (Zizumbo–Villarreal y Colunga–García–Marín, 2010). Por lo que se refiere al frijol ayocote o gordo (*Phaseolus coccineus* L.) sólo se han encontrado restos arqueológicos de cultivados en Mesoamérica, particularmente en México. Según Delgado 1988, los restos más antiguos de ayocote fueron descubiertos en las Cuevas de Ocampo, Tamaulipas, con una edad entre 5 500 y 7 000 años a. C.

Después de la Conquista, *P. coccineus* (frijol gordo) se llevó a Europa, donde se enriqueció y diversificó en sus formas culinarias (Debouck, 1994).

Actualmente, los frijoles ayocotes se cultivan en Norte y Sur América, Europa, Asia y África. Además, los colores brillantes de sus flores rojas, blancas y

rosadas han hecho que se utilice como planta ornamental en Estados Unidos de América y Europa, [Vargas–Vázquez, 2010](#).

## **Desarrollo de la planta**

La *P. coccineus* se siembra como cultivo anual, y esta tanto en su hábitat natural como de forma domesticada, crece en forma perenne en regiones templadas húmedas y templadas semiáridas en altitudes de más de 1 800 m, [IBPGR, 1983](#).

Como anual, se siembra de temporal en asociación con maíz. Las variedades que se siembran asociadas con maíz en climas templados subhúmedos o semiáridos, pueden ser de guías cortas y de ciclo intermedio; en sitios de clima semitropical y húmedo, se cultivan variedades trepadoras que maduran mucho después que el maíz, [Hernández X et al, 1979](#).

Por ser una planta de tipo perenne el ciclo del cultivo de frijol ayocote es más largo que el frijol común además la duración del período reproductivo también es más larga porque se trata de una especie alógama esto es que necesita de polinizadores como abejas y abejorros y se mantiene más tiempo produciendo flores para aumentar las posibilidades de la polinización cruzada. La planta de frijol ayocote puede llegar a alcanzar una altura mayor a los 2 metros de altura y su peso aumenta cuando las vainas se presentan

De acuerdo con el experimento realizado por [Ayala et al., 2006](#) se observó que hubo un aumento en el área foliar durante los primeros 42 días después de la germinación de la plántula y después se mantuvo constante hasta los ciento días después de la germinación de la plántula

Un factor que intervienen el crecimiento del frijol ayocote es la fecha en la que es sembrada, dando mejores resultados cuando su siembra es a principios de mayo dado a los factores ambientales de esa temporada. ([Ayala et al., 2006](#))

## **Variedades de frijol Ayocote**

Durante la década de 1950 se realizó una recolección de germoplasma del frijol ayocote las muestras tomadas se llevaron al banco de semillas del INIFAP (Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) donde se han

mantenido hasta la fecha. En la actualidad, la colección de frijol ayocote se compone de 800 accesiones y sus datos de ingreso permiten distinguirlas de acuerdo con las características físicas de los sitios de recolección original. Las accesiones se han clasificado según las subprovincias fisiográficas de origen (Vargas–Vázquez et al., 2007).

De acuerdo con el artículo Diversidad morfológica del frijol ayocote del Carso Huasteco de México, el color de la semilla fue la característica más variable en el germoplasma de frijol ayocote. Se observaron 11 clases de color predominante, 7 de color secundario, 6 tipos de color oscuro secundario, y 7 tipos de patrón del moteado. Los colores predominantes fueron negro y variantes de violeta y de beige y en cuanto a los colores secundarios, los más frecuentes fueron el café y el gris. Menos del 30% del germoplasma mostró moteado de la semilla; en las accesiones que sí mostraron moteado, el patrón rayado fue el más frecuente.

La forma de semilla más comúnmente observada (> 80%) en las accesiones fue una combinación o variante de las 3 formas de *P. coccineus*: riñón, rectangular y/o redonda, así como el hilo oval (casi 80%). Las relaciones largo/ancho y largo/ grueso más recurrentes en el germoplasma fueron 1.5–1.69 y mayor a 2.5, respectivamente. En las vainas no hay patrón de moteado; cuando lo hubo, generalmente fue negro (N1). En la mayoría de los casos, el color base de las vainas fue amarillo con tonalidades tendientes al beige, naranja o café (7.5 YR).

## **Distribución**

El frijol ayocote se siembra en los estados de Puebla, Hidalgo, México y Tlaxcala. Existe una diferencia clara entre el área cultivada del estado de Puebla donde se siembra como monocultivo y en los otros estados donde se siembra por regiones, esto puede tener como causante la diferencia en la demanda del grano, así como también la gastronomía del estado.

También se cultiva y consume *P. coccineus* en otras regiones del país, como las partes altas del estado de Chiapas, donde por lo general se asocia con maíz, y en los estados de Chihuahua, Durango y Zacatecas, el ayocote con grano blanco (patol) se consume en las fiestas y se produce junto al frijol común de temporal (Vargas–Vázquez , 2007).

## 2. Metodología

### 2.1 Área de estudio

Se seleccionó el área de interés ubicada en el municipio de Fortín de las Flores, Veracruz, para más información véase la figura 2.

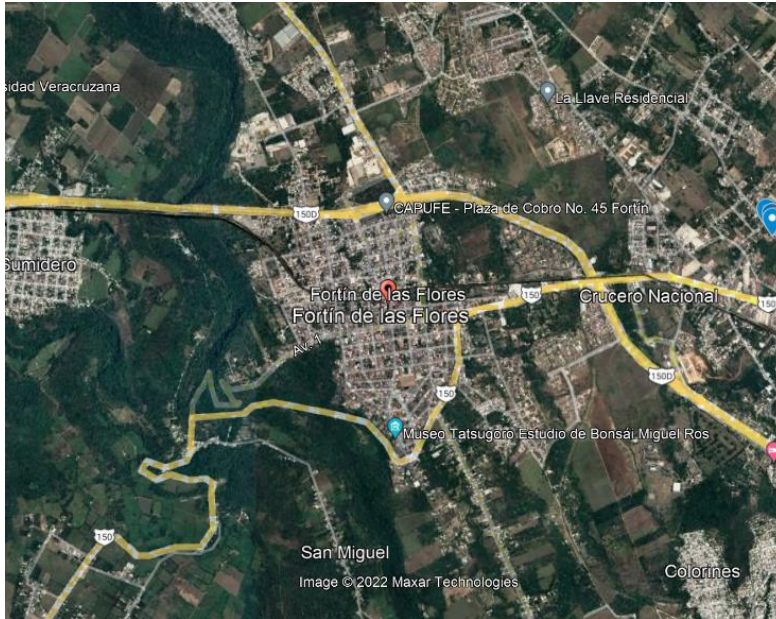


Figura 2 Municipio Fortín de las Flores, Veracruz

Fuente: Ubicación en mapa realizado por medio de la plataforma Google Earth (versión 7.3.3).

## 2.2 Muestreo

El muestreo de los residuos sólidos urbanos se llevó a cabo en 4 diferentes locaciones ubicadas en el municipio de Fortín de las Flores, con las siguientes coordenadas: 713361.7, 2091637.7 (Casa 1 N), 713398.3, 2091606.1 (Casa 2 C), 713413.6, 2091578 (Casa 3 B) y 713404.6, 2091573.9 (Casa 4 P) para más información revisar la figura 3.

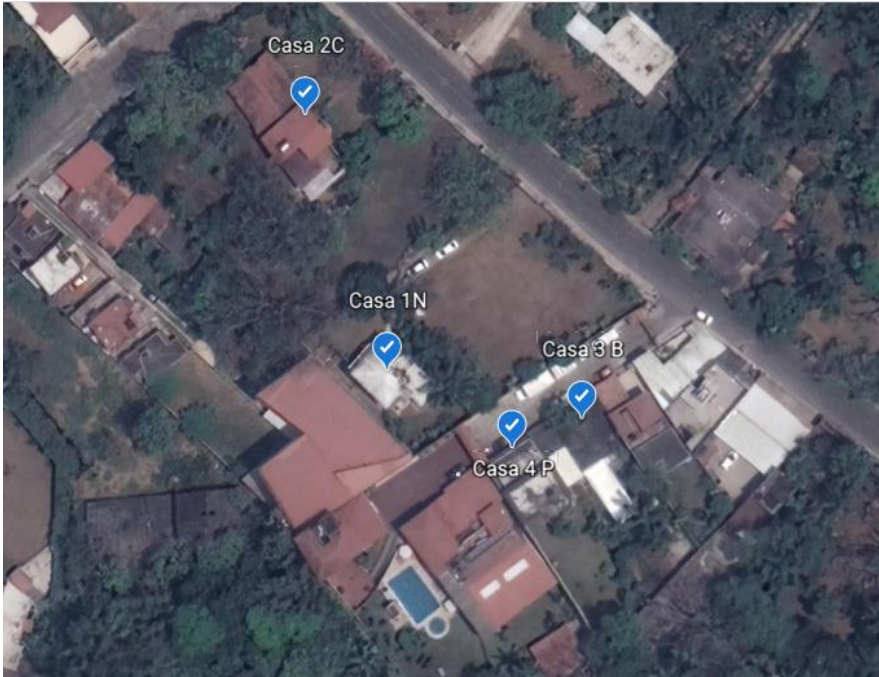


Figura 3. Puntos de muestreo

Fuente: Ubicación en mapa realizado por medio de la plataforma Google Earth (versión 7.3.3)

Durante el periodo de una semana se recolectaron los residuos provenientes de la preparación de alimentos de las viviendas que participaron en el proyecto, posteriormente se registraron los pesos totales de las muestras obtenidas cada día por casa habitación y se procedió a calcular la generación per cápita considerando el número de habitantes ara cada casa. De acuerdo con la NORMA MEXICANA NMX-AA-61-1985.

Se obtuvo el porcentaje en peso de los productos y subproductos de las muestras anteriormente recolectadas y se clasificaron según lo estipulado en la NMX-AA-022-1985.

Se dispusieron los residuos inorgánicos y se aprovecharon los residuos orgánicos aplicando el bioproceso de compostaje aerobio en pilas.

Se realizó un riego de aproximadamente 30 ml de agua, dos veces por semana durante el periodo de 6 semanas en el proceso de compostaje, con el objetivo de mantener las condiciones de humedad e incentivar la actividad microbiana dentro del bioproceso de compostaje aplicado. A partir de la semana 7 se suspendieron los riegos debido a la presencia de precipitaciones en la zona que humedecían las compostas que se encontraban a cielo abierto.

Se realizó un monitoreo semanal de los parámetros de temperatura, humedad y pH en las compostas.

Después de 10 semanas, se dejó reposar la composta una semana más para posteriormente realizar las siguientes pruebas cualitativas:

#### Propiedades físicas

- Determinación de humedad
- Densidad aparente e infiltración

#### Propiedades químicas

- Determinación de Manganeseo
- Determinación de materia orgánica
- Determinación de pH

Las pruebas realizadas fueron ejecutadas a través de lo establecido en la Agenda de campos de suelos escrito por [Porta Casanellas Jaume](#), en el año 2005. Una vez realizadas las pruebas cualitativas, la composta obtenida se aplicó en 7 macetas experimentales, una de ellas conteniendo únicamente suelo, tres más preparadas con suelo de la región y composta obtenida del bioproceso en una proporción 30% y 70 % denominada en adelante prueba 1 (p1), y tres macetas más con suelo de la región y composta obtenida del bioproceso en una proporción 70 y 30 % respectivamente denominada prueba 2 (p2).

De forma adicional, en las macetas experimentales se sembraron 5 semillas de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus L.*) distribuidas de manera homogénea dentro de la superficie de la maceta, monitoreando el tiempo de germinación, y

número de semillas germinadas, altura del tallo y el largo de raíz.

## Resultados y Discusión

### Recolección y pesaje de los residuos.

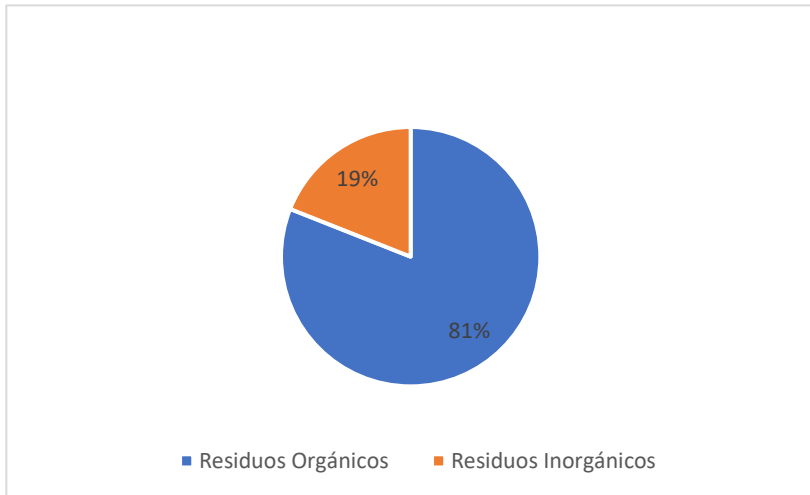
La recolección de los residuos se realizó del 02 al 08 de mayo del presente año, conforme a la NORMA MEXICANA NMX-AA-61-1985., durante los 7 días en las casas habitación que participaron en el proyecto, en las tablas 1-4 se muestran los pesos totales de los residuos inorgánicos y orgánicos, los pesos totales de los residuos por día por casa habitación y la generación per cápita por cada vivienda.

Tabla 1. Generación de residuos vivienda 1 N

No.	FECHA	PESO DE LOS RESIDUOS (Kg)	GENERACIÓN PER-CAPITA (Kg/personas/día)	Peso de los residuos orgánicos (Kg)	Peso de los residuos inorgánicos (Kg)
1	02/05/2022	831	166.2	762	69
2	03/05/2022	848	169.6	766	82
3	04/05/2022	920	184	750	170
4	05/05/2022	967	193.4	831	136
5	06/05/2022	610	122	540	70
6	07/05/2022	1550	310	980	570
7	08/05/2022	1900	380	1568	332

Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Gráfico 1. Residuos orgánicos e inorgánicos vivienda 1 N



Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Tabla 2. Generación de residuos vivienda 2 C

No.	FECHA	Peso De Los Residuos	Generación Per cápita	Peso De Los Residuos Inorgánicos	Peso De Los Residuos Orgánicos
1	02/05/2022	1312	656	0	1312
2	03/05/2022	406	203	0	406
3	04/05/2022	151	75.5	0	151
4	05/05/2022	200	100	0	200
5	06/05/2022	576	288	0	576
6	07/05/2022	1790	895	0	1790
7	08/05/2022	1535	767.5	0	1535

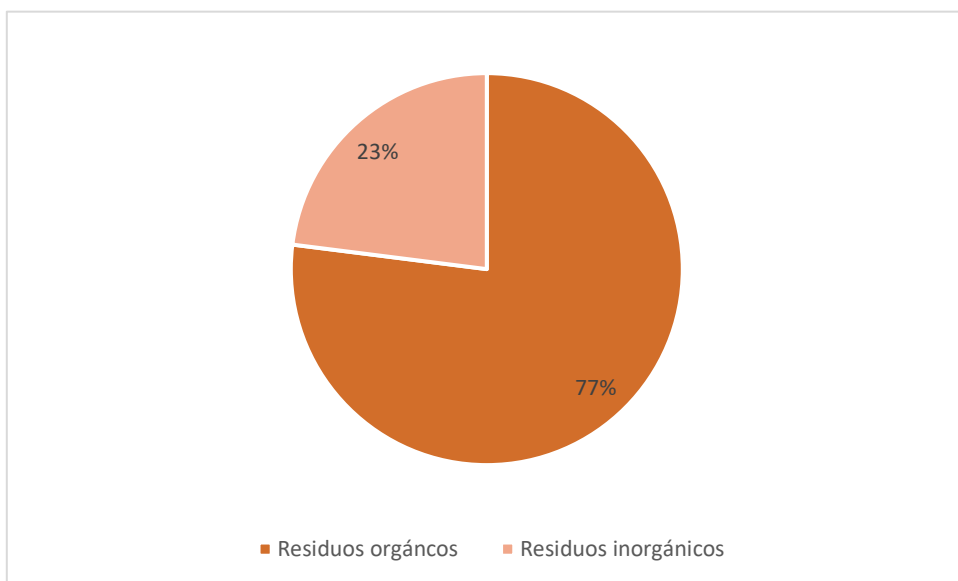
Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Tabla 3. Generación de residuos vivienda 3 B

No.	FECHA	Peso De Los Residuos	Generación Per cápita	Peso De Los Residuos Inorgánicos	Peso De Los Residuos Orgánicos
1	02/05/2022	351	175.5	115	236
2	03/05/2022	430	215	86	344
3	04/05/2022	1004	502	245	759
4	05/05/2022	315	157.5	57	258
5	06/05/2022	140	70	34	106
6	07/05/2022	465	232.5	97	368
7	08/05/2022	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia del estudio

Gráfica 2. Residuos orgánicos y residuos inorgánicos de la vivienda 3B



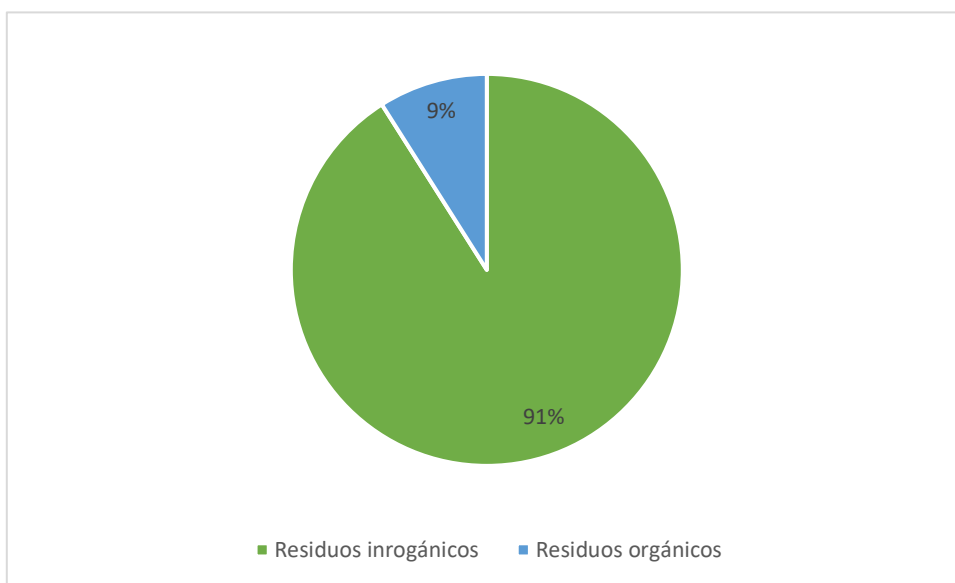
Fuente: Gráfico realizado en Microsoft Excel

Tabla 4. Generación de residuos vivienda 4 P

No.	FECHA	Peso De Los Residuos	Generación Per cápita	Peso De Los Residuos Orgánicos	Peso De Los Residuos Inorgánicos
1	02/05/2022	849	212.25	755	94
2	03/05/2022	296	74	256	40
3	04/05/2022	456	114	437	19
4	05/05/2022	481.4	120.35	423	58.4
5	06/05/2022	454	113.5	454	0
6	07/05/2022	319	79.75	273	46
7	08/05/2022	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Gráfica 3. Residuos orgánicos y residuos inorgánicos vivienda 4P



Fuente: Gráfico realizado en Microsoft Excel

Durante la recolección de residuos el domingo con fecha 08/05/2022, tanto en la vivienda 3B como en la 4P no hubo generación de residuos, esto debido a las actividades fuera de los hogares lo que propició una ausencia de generación de residuos.

Se omitió la gráfica de la casa 2C ya que a causa de los hábitos de consumo solo producen residuos de tipo orgánico, debido a que solo se permiten la compra de productos que no vengan empaquetados. Esto concuerda con [Acurio, 1997](#), quién menciona que los países con menos ingresos tienden a tener una composición de residuos denominada por la fracción orgánica

### **Clasificación de los residuos en productos y subproductos.**

Después de pesar los residuos se procedieron a su clasificación de los productos y subproductos correspondientes, considerándose las siguientes categorías: cartón, papel, plástico y residuos alimenticios, debido a que estos grupos representaban la mayor cantidad de subproductos, todo esto se realizó de acuerdo con el método de cuarteo establecido en la NOM-AA-22.

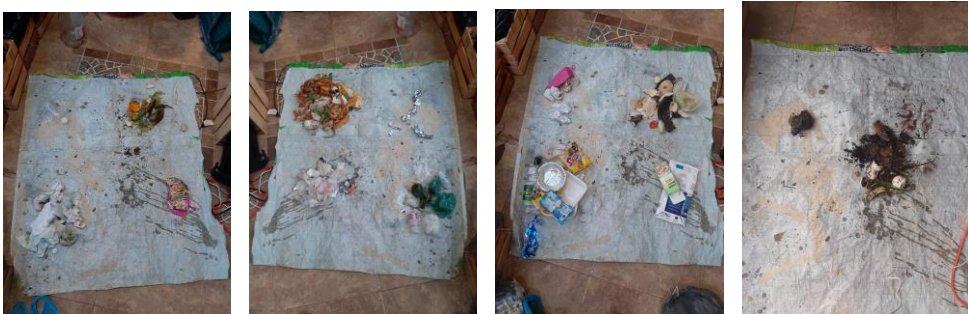


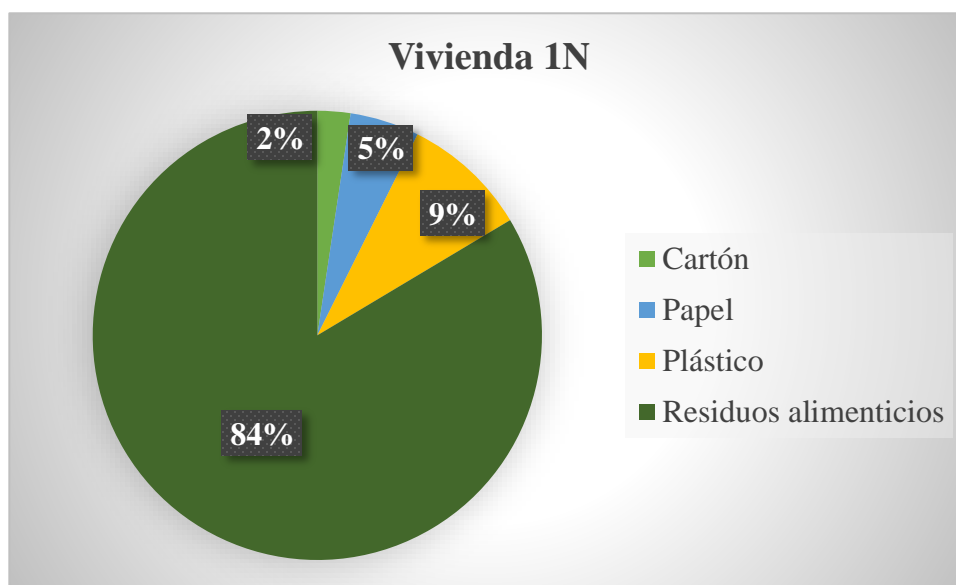
Imagen 1. Separación de residuos por el método de cuarteo.  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Generación de subproductos vivienda 1 N

Cartón	Papel	Plástico	Residuos alimenticios	Total
11	7	47	762	827
0	27	52	766	845
36	35	71	750	892
49	47	35	831	962
10	19	37	540	606
39	137	256	980	1412
31	98	174	1568	1871

Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Gráfica 4. Subproductos vivienda 1N



Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

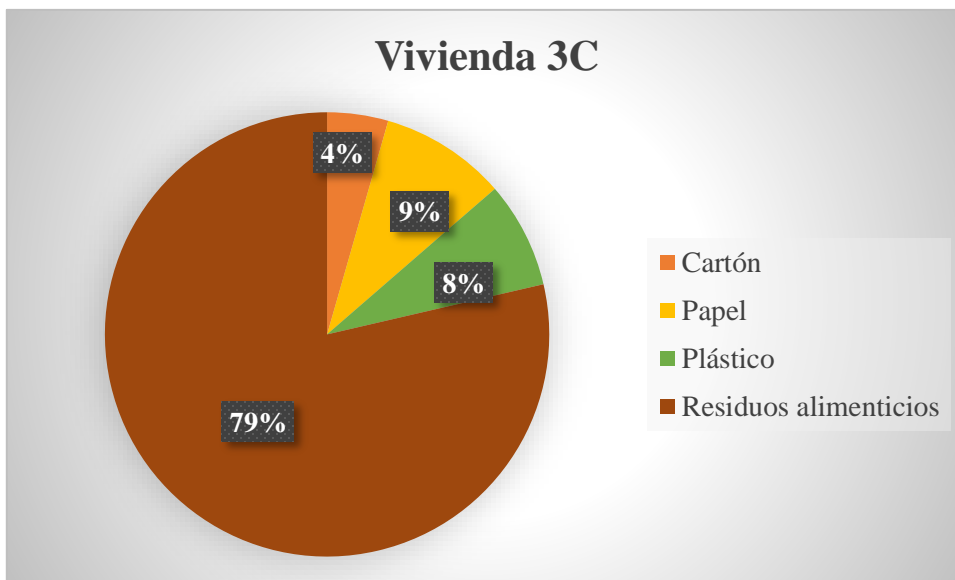
En el caso de la casa 1N, después de los residuos orgánicos los cuales representa un 81% del gráfico, el plástico con un porcentaje del 9% se encontró como el subproducto de mayor peso, después de este subproducto se encontraba el papel con un 5% y por último el cartón con un 2%.

Tabla 6. Generación de residuos vivienda 3 B

Cartón	Papel	Plástico	Residuos alimenticios	Total
34	10	46	236	326
16	39	16	344	415
14	177	37	759	987
11	1	43	258	313
19	0	15	106	140
23	15	47	368	453
0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Gráfica 5. Subproductos vivienda 3 C



Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

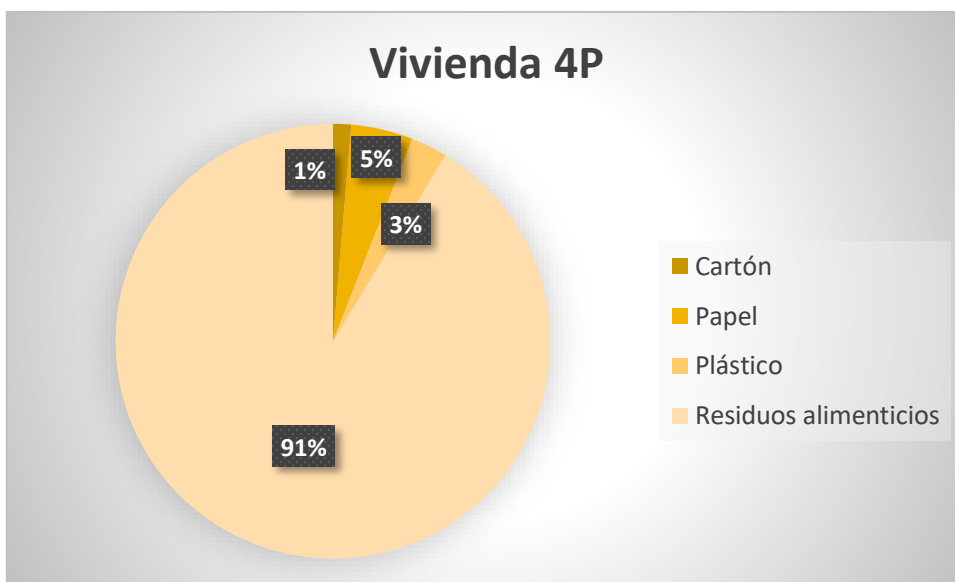
En el caso de la casa 3 C, después de los residuos orgánicos e cual representa un 77% del gráfico, el papel con un 9% se encontró como el subproducto de mayor peso, después de este subproducto se encontraba el plástico con un 8% y por último el cartón con un 4%.

Tabla 7. Generación de residuos vivienda 4 P

Cartón	Papel	Plástico	Residuos alimenticios	Total
12	43	32	755	842
0	23	17	256	296
0	13	6	437	456
26.4	18	10	423	477.4
0	0	0	454	454
0	34	12	273	319
0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Gráfica 6. Subproductos vivienda 4P



Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

De acuerdo a la gráfica 6, se puede observar que después de los residuos alimenticios los cuales representaba un 91% del peso de los residuos el papel con un porcentaje del 5% se encuentra en el segundo subproducto con mayor generación, después de este se encuentra el papel con un porcentaje del 3% y por último el cartón con un porcentaje del 1%.

Durante la separación de subproductos se descartó a la vivienda 2 C debido a que todos sus desperdicios son residuos alimenticios; también se descartaron otros subproductos debido a que la cantidad de su generación era tan pequeña que no resultó significativa respecto a lo generado en los otros subproductos.

### **Aprovechamiento de los residuos orgánicos.**

Posteriormente se dispuso de los residuos inorgánicos, esto debido a que la cantidad generada de ellos durante la realización del estudio de generación fue sustancialmente pequeña a tal punto de poder ser considerada como no significativa, sin embargo, por lo que respecta de los residuos orgánicos y como se puede observar en las gráficas 1-6, este tipo de residuos es factible de ser aprovechado por lo que se procedió a implementar el bioproceso aplicado de compostaje a cielo abierto por pilas, preparando cuatro contenedores, uno para cada domicilio.



Imagen 2. contenedores para la realización de la composta.  
Fuente: Propia de la investigación.

El composteo se realizó de acuerdo con el procedimiento propuesto en el manual de la (FAO 2011).

Este procedimiento se realizó durante siete días en las fechas 02/05/2022 – 08/05/2022, cuando se dio por terminado el proceso de compost.



Imagen 3. Disposición de residuos alimenticios para la realización de composta.  
Fuente: Propia de la investigación.



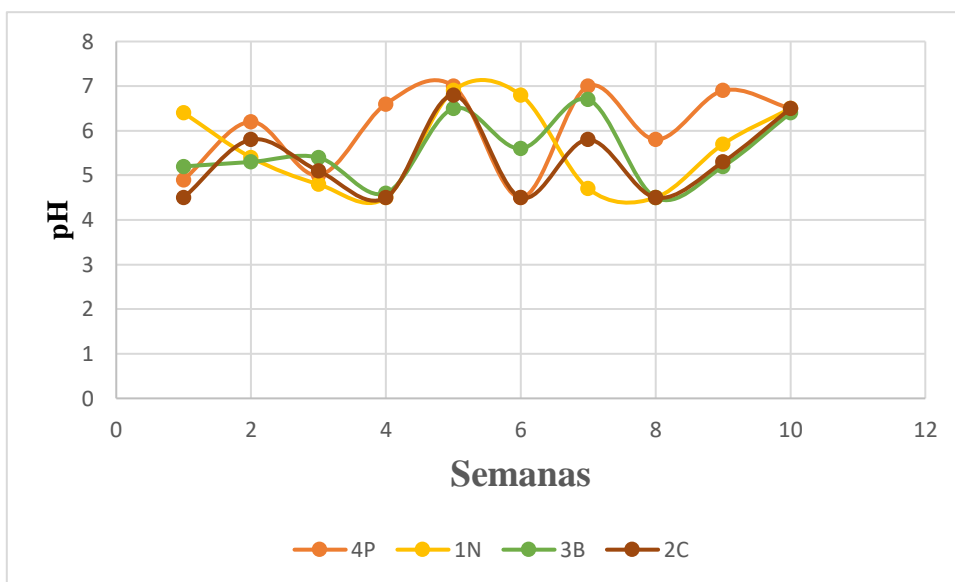
Imagen 4. Terminación de la composta.  
Fuente: Propia de la investigación.

## Mediciones de humedad, pH y temperatura.

Subsiguiente a esto se tomaron mediciones de temperatura, humedad y pH, los días domingo durante un periodo de 10 semanas con la finalidad de monitorear el compost. Los parámetros fueron monitoreados mediante el sensor 4 in 1 soil survey instrument.

A continuación, se anexan las gráficas 7-9 con los parámetros antes mencionados.

Gráfica 7. Comportamiento de pH en las compostas



Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Respecto al comportamiento que se observa en la gráfica 6 se demuestra que de la semana 1 a la 4 el pH disminuyó de un valor 6.4 a 4.5 para la composta 1N, de 5.2 a 4.5, para la composta 3B. La disminución del pH presentada durante las primeras 4 semanas del monitoreo podría explicarse debido a la presencia o a la producción de ácidos orgánicos, producto de la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más fácilmente oxidable presente en los residuos orgánicos lo cual coincide con lo mencionado por [Bohórquez Santana Wilson. \(2019\).](#)

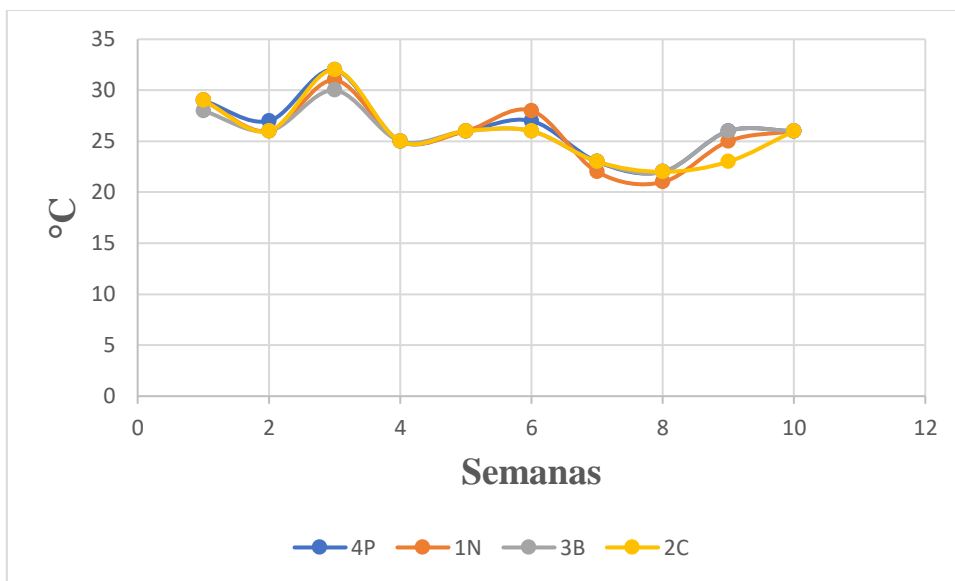
Este comportamiento fue diferente para la compostas 4P, la cual tuvo un decremento con un valor por debajo de 5 en la semana 3 para posteriormente volver a aumentar a un valor de 6.6 en la semana 4. La condición de la composta 4P respecto al aumento del pH de la semana 3 a la

4 que difiere del comportamiento de resto de las compostas podría ser causa de diferentes factores como la presencia de los diferentes tipos de microorganismos presentes a lo largo del proceso de descomposición, lo que coincide con lo mencionado por [Bohórquez Santana Wilson. \(2019\)](#).

Respecto del comportamiento presentado de la semana 4 a la 5 donde se mostró un incremento en todas las unidades de experimentación, de acuerdo con lo citado por [Bohórquez Santana Wilson. \(2019\)](#), el aumento del pH podría deberse a la utilización de los ácidos orgánicos producidos en la primera etapa y por la generación de amoníaco producido por la hidrólisis de las proteínas, por parte de los microorganismos existentes en el sistema de compostaje.

De la semana 5 a la 6 hubo una disminución de pH en todas las compostas para que después en las semanas 7-10 los valores de pH incrementaron paulatinamente hasta llegar a valores cercanos al 7. Esto último concuerda con lo mencionado por [Bueno et al., 2008](#) quien señala que como parte de la última etapa del compostaje el pH se estabiliza mostrando valores cercanos a la neutralidad, esto a causa de la producción de compuestos húmicos, los cuales se comportan como buffer o tampón.

Gráfica 8. Comportamiento de la temperatura en las compostas durante 10 semanas.



Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

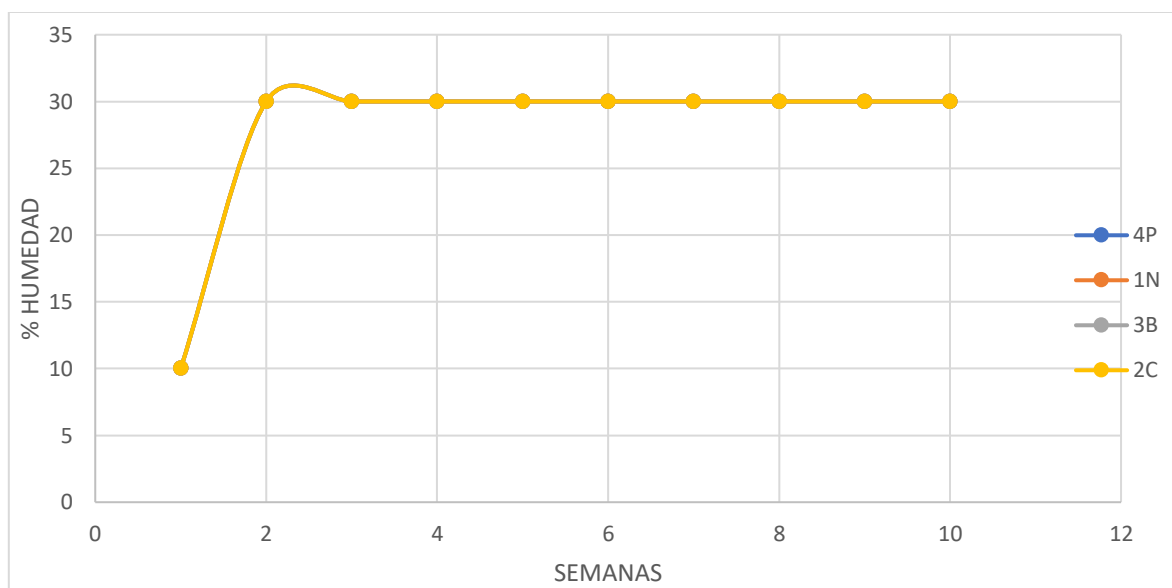
La temperatura presentó un rango de valores que van desde 21°C hasta 32°C. Estas variaciones de temperatura son aceptables dentro del rango propuesto en el escrito por [Bohórquez Santana Wilson. \(2019\)](#) “El proceso del compostaje” el cual menciona que las variaciones de temperatura están dentro de los 20°-70°C siendo los 70°C la temperatura máxima necesaria para la eliminación de las formas vegetativas de los microorganismos y parásitos patógenos, siempre que este valor permanezca por un tiempo adecuado.

Sin embargo, a lo largo del proceso realizado en este proyecto únicamente logró alcanzarse temperaturas de 32 grados, esto podría explicarse como una consecuencia de diferentes factores dentro de los que se encuentran: el volumen de compostaje utilizado, la alta humedad presentada debido al clima de la zona y la aireación durante el proceso.

Esto se respalda de acuerdo con lo señalado por [Bohórquez Santana Wilson. \(2019\)](#) donde se menciona que “Una variación de la temperatura de la pila dependerá de la adecuación de los demás factores a los intervalos óptimos, del tamaño de la pila (el calor generado es proporcional al volumen o masa de la pila, pero la pérdida es proporcionada a la superficie), de las condiciones

ambientales y del tipo de adición de aire a la pila, ya sea con volteos o con aire a presión”, siendo en este proyecto la aeración por volteo el caso específico.

Gráfica 9. Comportamiento de la humedad en las compostas durante 10 semanas.



Fuente. Elaboración propia con los datos del estudio.

Los rangos de humedad durante el experimento fueron dispuestos por las limitaciones del sensor usado. Por lo tanto, los valores presentados solo representan una aproximación de los valores reales por consecuencia del rango el cual el instrumento era capaz de registrar. Para la realización de esta gráfica se utilizaron los valores mínimos presentados en el sensor utilizado para este experimento.

Por lo que respecta al porcentaje humedad, durante la primera semana se registraron valores de entre 5% a 10% para incrementar su valor por arriba del 30% en las semanas posteriores. Lo anterior muestra que, el proceso de descomposición de la materia orgánica se realizó de manera adecuada ya que se mantuvo por arriba del 20% y por debajo del 60%, de acuerdo con lo señalado por [Bohórquez Santana Wilson. \(2019\)](#), no deteniéndose las reacciones oxidativas ni generando condiciones anaerobias respectivamente.

El porcentaje de humedad se mantuvo en un porcentaje mayor al 30%, lo cual indica que el porcentaje de humedad fue ideal para incentivar el crecimiento de poblaciones microbianas [Bohórquez Santana Wilson. \(2019\)](#).

Las alteraciones que se presentan en las variables medidas de pH, humedad y temperatura pudieran ser explicadas con las variaciones climáticas que se presentaron durante el experimento, ya que mientras se realizaba este proyecto se presentaron lluvias a causa de la temporada de huracanes lo que provocó un aumento en la humedad ambiental y variaciones en la temperatura que finalmente pudieron ser causa de que los datos presentados no se ajusten fielmente a los reportados en las bibliografías, pese a esto se obtuvo el producto final de este bioproceso.

## Pruebas cualitativas

Después de 10 semanas en las que se formó el compost, se le dejó reposar una semana más para después realizar las pruebas cualitativas físicas (densidad aparente) y químicas (determinación de manganeso, determinación de materia orgánica, determinación de pH y porcentaje de humedad) de acuerdo con NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis y con la agenda de campo de suelos. escrito por Porta Casanellas Jaume et al.,2005.

Tabla 8. Densidad aparente en compostas

DENSIDAD APARENTE	
Composta	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
1N	0.53
2C	0.56
3B	0.51
4P	0.52

Fuente: Elaboración propia del estudio

Después de realizar la determinación de la densidad aparente se clasificó el suelo de las compostas como suelo de tipo orgánico (suelo que cuenta una gran cantidad de materia orgánica) esto de acuerdo con lo señalado en la NOM-021-SEMARNAT-2000.

## Propiedades químicas

Por lo que respecta a las propiedades químicas a la composta se le realizaron la determinación de:

- Determinación de pH
- Porcentaje de humedad
- Determinación de Manganeseo
- Determinación de materia orgánica

La determinación de humedad y pH se realizó con el sensor 4 in 1 soil survey utilizado a lo largo de todo este experimento, donde los resultados arrojados mostraron una humedad superior al 30% y valores de pH cercanos a 7.

Respecto a la determinación cualitativa de materia orgánica, esta se realizó agregando 5 ml de peróxido de hidrógeno a 20 gr de suelo obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 9-10.

Tabla 9. Prueba cualitativa de materia orgánica en compostas

### MATERIA ORGÁNICA

Composta	Reacción
1N	Presencia de burbujeo intenso durante aproximadamente dos minutos.
2C	Presencia de burbujeo intenso durante aproximadamente dos minutos.
3B	Presencia de burbujeo intenso durante aproximadamente dos minutos.
4P	Presencia de burbujeo intenso durante aproximadamente dos minutos.

Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Tabla 10. Prueba cualitativa de materia orgánica en compostas

**Manganeso**

<b>1N</b>	Efervescencia vigorosa por un aproximadamente 2 min
<b>2C</b>	Efervescencia vigorosa por un aproximadamente 2 min
<b>3B</b>	Efervescencia vigorosa por un aproximadamente 2 min
<b>4P</b>	Efervescencia vigorosa por un aproximadamente 2 min
<b>1N</b>	Efervescencia vigorosa por un aproximadamente 2 min

Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Al agregar peróxido de hidrógeno a las compostas, se presentó una reacción de efervescencia y se generaron vapores de color blanco lo cual según [Porta Casanellas Jaume et al,2005](#) demuestra la presencia de materia orgánica y de manganeso.

## Germinación de frijol ayocote

La germinación de frijol ayocote se dio durante los primeros tres días, en todas las unidades experimentales. En el caso en la prueba 2 de la composta 3B, una semilla se pudrió por lo tanto no germinó. En el caso del blanco, este germinó hasta el cuarto día, por consiguiente, tuvo una germinación tardía a comparación de las demás unidades experimentales. En la tabla 10, se pueden observar los tiempos de germinación.

Tabla 10. Tiempo de germinación del frijol ayocote

<b>Composta</b>	<b>Prueba</b>	<b>Tiempo de germinación (días)</b>
<b>Composta 1N</b>	Prueba 1	3
<b>Composta 1N</b>	Prueba 2	3
<b>Composta 2 C</b>	Prueba 1	3
<b>Composta 2 C</b>	Prueba 2	3
<b>Composta 3B</b>	Prueba 1	3
<b>Composta 3B</b>	Prueba 2	3
<b>Composta 4P</b>	Prueba 1	3
<b>Composta 4P</b>	Prueba 2	3
<b>Blanco</b>		4

Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Una posible razón por la cual la germinación de las semillas de frijol ayocote presentes en las unidades experimentales fue de menor duración a comparación del blanco, podría ser debido a la presencia de la composta en las unidades experimentales ya que la presencia de compost de acuerdo con [el Manual de compostaje FAO \(2013\)](#), tiene diferentes beneficios entre ellos están el control de la temperatura edáfica y el aumento de la porosidad del suelo, reduciendo de esta manera el riesgo de erosión y la desertificación.

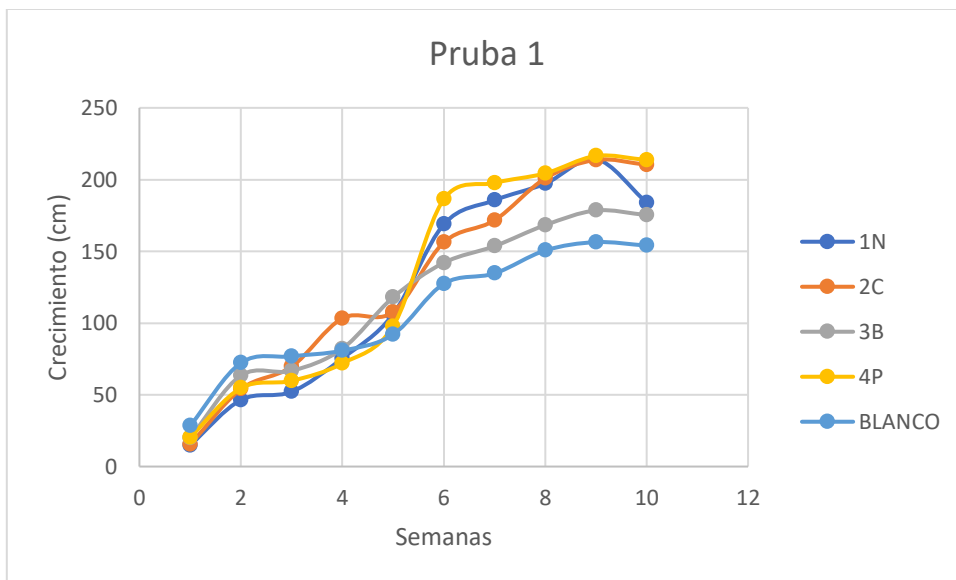
Esto concuerda con algunos de los factores que contribuyen en la velocidad de germinación de una planta como son: la presencia de luz, oxígeno, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), humedad y temperatura esto de acuerdo con [Probert, 2000](#). De los factores ya mencionados la temperatura y la humedad son los más influyentes en el proceso de germinación de acuerdo con [Hadas, 2004](#)

## Desarrollo de frijol ayocote

Durante el lapso de diez semanas se monitoreo semanalmente el crecimiento de las plantas de frijol ayocote, se optó por la medición hasta los inicios de la floración ya que solo se buscaba comprobar los efectos de la composta sobre el crecimiento de la planta de manera cualitativa ya que debido a que esta tesis se realizó en la última parte de la pandemia no se contaban con las herramientas necesarias para el análisis de los nutrientes del fruto.

Los resultados del muestreo realizado se muestran en la gráfica 8 y la gráfica 9 con el objetivo de comparar el crecimiento de acuerdo con las diferentes características de las unidades experimentales (p1 y p2).

Gráfica 8. Comportamiento de del crecimiento del frijol ayocote durante 10 semanas en prueba 1



Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

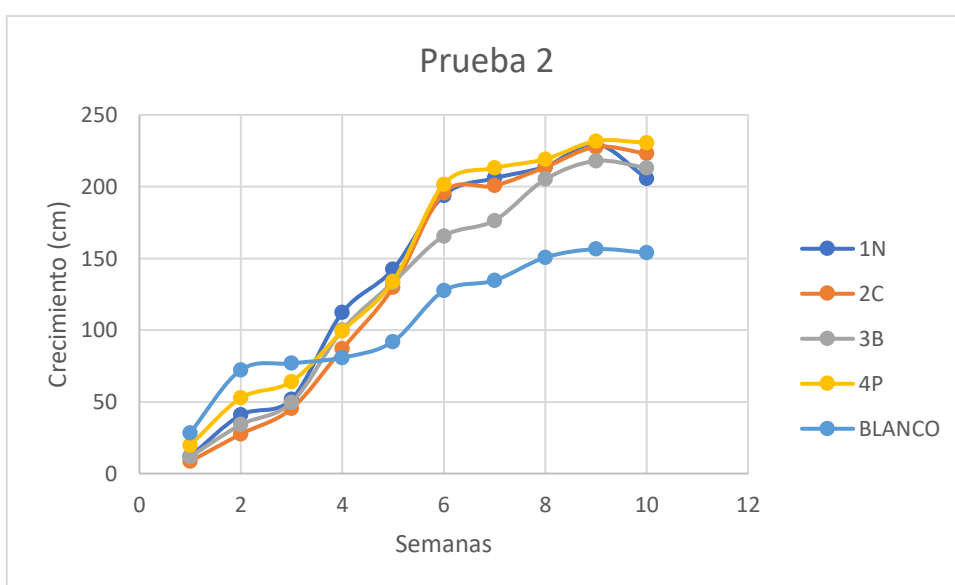
Las unidades experimentales p1 (Treinta por ciento composta y setenta por ciento suelo), existió un crecimiento exponencial, exceptuado por la última semana en la cual se vio disminuido el crecimiento a causa de la excesiva lluvia y presencia de una plaga orugas.

Se observa en la gráfica 8 que las unidades experimentales que presentaron un mayor crecimiento de las plantas fueron aquellas en las que se usó la composta

4P con 213.66 cm, seguidas de aquellas donde se usó la composta 2C con 210.33 cm, en las que se usó la composta 1N con 184 cm y por último la composta 3B con 175.266 cm.

El mayor crecimiento que tuvieron las unidades experimentales fue durante la semana 9 donde se alcanzaron valores de 216.47 cm para la composta 4P que fue la que más se desarrolló, 214.27 cm en el caso de la composta 1N, 213.73 cm para la composta 2C y 178.47 cm para la composta 3B.

Gráfica 9. Comportamiento de del crecimiento del frijol ayocote durante 10 semanas en prueba 2



Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

En el caso de la prueba 2 hubo un crecimiento mayor que en la prueba uno, esto podría ser causa de que existía una concentración mayor de composta en esta prueba.

Igual que en la prueba 1 el mayor crecimiento se presentó en la semana 9, donde la composta con mayor crecimiento fue la 4P con 231.73 cm, seguida por la composta 1N con 229.73 cm, la composta 2C con 227.667 cm y por último la composta 3B 217.88 cm.

Se observa en la gráfica 9 que la composta que tuvo un mayor desarrollo en el tallo del fríjol ayocote fue la 4P con un valor de 230.66 cm, después siguió la composta 2C con un valor de 223 cm, prosiguió la composta 3B con un valor de 213.13 cm y por último la composta 1N con un valor de 205.73 cm.

Se presentó un decrecimiento en las plantas en la semana 10 debido a una enfermedad por exceso de agua y presencia de orugas.

De entre las pruebas, la que tuvo mayor crecimiento fue la prueba 2; esto podría explicarse debido a que la concentración de nutrientes fue mayor porque el contenido de composta fue superior al de la prueba 1, esto coincide con lo mencionado por [Wilson Bohórquez Santana, 2019](#), quien menciona que la aplicación de composta afecta positivamente en el desarrollo de los cultivos ya que influye sobre las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo.

El crecimiento exponencial observado en las plantas de frijol ayocote coincide con lo mencionado por [Ann Marie Hendry, 2017](#), quien menciona que esta planta puede alcanzar una altura mayor a los 2 metros; como fue el caso de todas las unidades experimentales de la prueba 2. En el caso de la prueba p1 solo las compostas 2C y 4P superaron los 2 metros de altura.



Imagen 5. Crecimiento de frijol ayocote

Fuente: Elaboración propia

## Crecimiento de raíz de frijol ayocote.

Al termino de las diez semanas del crecimiento, se midió la raíz de las plantas. Los datos de esta medición de raíz se muestran en la tabla 11, en el caso del blanco se realizó una medición promedio debido a que las raíces todas las plantas se encontraban entrelazadas entre sí, la cual fue de 31 cm.

Tabla 11. Crecimiento de la raíz de frijol ayocote en unidades experimentales p1 y p2.

Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

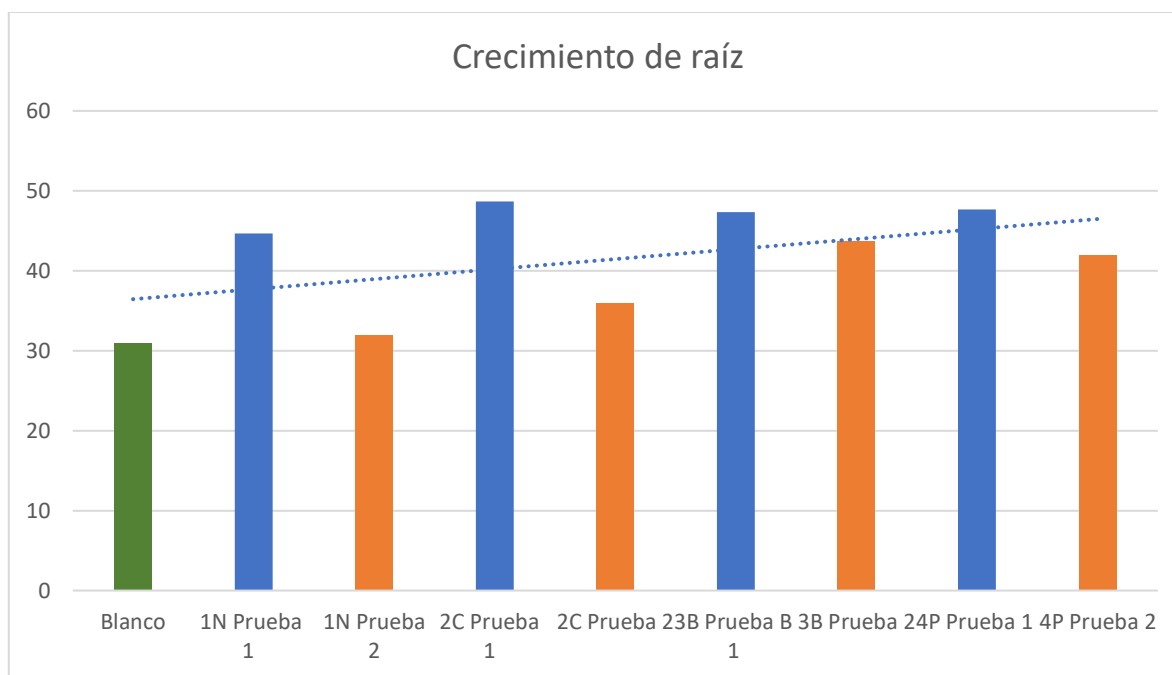
Blanco	Composta N		Composta 2 C		Composta 3B		Composta 4P	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba B 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
31	44.67	32	48.67	36	47.33	43.77	47.67	42



Imagen 6. Medición de raíz de frijol ayocote.

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 11. Crecimiento de la raíz de frijol ayocote



Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

Como se puede observar en la gráfica 11, el crecimiento de la raíz de las plantas en la prueba 1 fue superior al de la prueba 2, sin embargo, el crecimiento de todas las pruebas fue superior al crecimiento del blanco.

Los valores del crecimiento de la raíz de la composta 1N fue en promedio de 48.67 cm para la prueba 1 mientras que en la prueba 2 fue de 32 cm, en el caso de la composta 2C la prueba uno presentó un valor de 48.67 cm mientras que la prueba dos presentó un valor de 36 cm, por otra parte, la composta 3B tuvo un desarrollo en la prueba 1 de 47.33 cm y en la prueba 2 de 43.76 cm y por último el crecimiento de la raíz en la composta 4P tuvo como resultado en la prueba 1 de 47.67 cm y en la prueba 2 de 42 cm.

La diferencia de tamaño de raíz entre la prueba P1 y P2, podría estar asociado al contenido de carbono orgánico del suelo (COS), la biota, las asociaciones iónicas y el contenido de arcillas y carbonatos, esto de acuerdo con lo señalado por [Carlos Alberto Torres-Guerrero, 2016](#).

Lo anterior, debido a que la composta adiciona carbono orgánico al suelo, y biota microbiana; lo que pudo haber influido en la diferencia de crecimiento de raíz presentada entre las unidades experimentales, [Wilson Bohórquez Santana, 2019](#).

# Conclusión

- La elaboración del estudio de generación de residuos sólidos urbanos mostró que el mayor porcentaje (más de la mitad) de los residuos generados eran de tipo orgánico.
- El empleo del compostaje dentro del manejo de los residuos sólidos de tipo orgánico, demostró ser una herramienta viable para el aprovechamiento de los mismos.
- Existió una variación de las mediciones del monitoreo en el proceso del compostaje a diferencia de lo escrito en bibliografía, a causa de las condiciones de humedad y la exposición de las compostas al medio.
- Las pruebas cualitativas realizadas demostraron una presencia activa de materia orgánica y presencia de manganeso; además por su densidad aparente la composta fue clasificada como suelo de tipo orgánico.
- Se muestra que la utilización de composta estimuló el crecimiento de las plantas de frijol ayocote respecto de aquellos donde no se utilizó. Siendo la prueba 2 (70% composta, 30% suelo) la que mostró un mayor crecimiento.
- La composta que presentó mayor crecimiento en ambas pruebas fue la composta 4P.

Con lo anterior, se puede concluir que la utilización del compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos es una alternativa viable para su manejo. También se concluye que la composta obtenida fue beneficiosa para el crecimiento de las plantas.

# Bibliografía

1. *Datos y cifras naciones unidas (no date) United Nations. United Nations. Available at: <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures#:~:text=Cada%20a%C3%B1o%20se%20recolecta%20en,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>.*
2. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (no date) Residuos Sólidos Urbanos (RSU), gob.mx. Nombre del sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20se%20generan%20diariamente,9.63%25%20de%20los%20residuos%20generados>.*
3. *Porta Casanellas Jaume y López-Acevedo Reguerín Marta. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi Prensa*
4. *INECC (ND). LA SITUACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN MÉXICO Nombre del sitio <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/133/situacion%20en%20mexico.html#:~:text=El%20control%20de%20los%20residuos,el%20Consejo%20Superior%20de%20Salubridad>.*
5. *Secretaría de Desarrollo Social [Sedesol] (2011). Estado de las Ciudades de México 2011. México, D.F.: Secretaria de Desarrollo Social y Programa de las Naciones Nombre del sitio web: <http://bibliotecadigital.imipens.org/uploads/Estado%20de%20las%20Ciudades%20de-Mexico%202010-2011%20-%20SEDESOL.pdf>*
6. *Fao.org (no date) PORTAL TERMINOLÓGICO DE LA FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Available at: <https://www.fao.org/faoterm/es/>.*
7. *Bohórquez Santana Wilson. (2019), "El proceso de compostaje" (2019). Libros en acceso abierto. 72. Nombre del sitio web: <https://ciencia.lasalle.edu.co/libros/72>*
8. *Liana E. Pozza, Damien J. Field (2020), The science of Soil Security and Food Security, Soil Security, Volume 1, ISSN 2667-0062, <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2020.100002>.*
9. *Johan Boumaa, AlexMcBratneyb. (2013). Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. Geoderma 200-201; 130-139.*
10. *FAO, F. (2017). The future of food and agriculture—Trends and challenges. Annual Report, 296, 1-180.*
11. *G. Santeramo, D. Carlucci, B. De Devitiis, A. Seccia, A. Stasi, R. Viscecchia, G. Nardone. (2018). Emerging trends in European food, diets and food industry. Food Research International, Volume 104, Pages 39-47, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.039>.*
12. *Maddela, N.R., Golla, N. and Vengatampalli, R. (2017) Soil enzymes, SpringerLink. Springer International Publishing. Sitio web:*

- <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-42655-6> (Accessed: November 22, 2022).
13. FAO (2013). *Manual De Compostaje Del Agricultor, Experiencias en América Latina*. Sitio web: <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
  14. S. Elagroudy, M.A. Warith, M El Zayat, *Municipal Solid Waste Management and Green Economy*. Berlin, Germany, 2016.
  15. J.M. Owens, D.P. Chynoweth, *Biochemical methane potential of municipal solid waste (MSW) components*, in: *Water Science and Technology*, 1993, pp. 1–14.
  16. Catalina Rosales-López (2019), *Los bioprocesos en la biotecnología: uso de biorreactores para la producción y el escalamiento de productos de interés comercial*
  17. Wildmark Trindade da Graça Trovoada (2009), *Análisis Y Simulación Del Proceso De Digestión Anaeróbica De La fracción Orgánica De Los Residuos Sólidos Urbanos*
  18. Allen, A. *Containment landfills: the myth of sustainability*. *Engineering Geology* 60: 3-19. 2001.
  19. Hernández-Rejón, E.M. *Sustentabilidad y calidad de vida urbana*. *Revista de Comunicación de la SEECI* 159-169. 2014.
  20. Francisco J. André, Emilio Cerdá Tena (2006). *Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas pública*, Departamento de Economía Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, Universidad Complutense de Madrid. [\\*Gestion-de-residuos-solidos-urbanos-analisis-economico-y-politicas-publicas.pdf \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/266111111_Gestion-de-residuos-solidos-urbanos-analisis-economico-y-politicas-publicas-pdf)
  21. SEMARNAT (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. [hd\\_1988\\_18.pdf \(miteco.gob.es\)](https://www.miteco.gob.es/hd_1988_18.pdf)
  22. Castillo, G. F. 2004. *Contribuciones de los recursos filogenéticos a la genotecnia*. In: Preciado, O. R. E. y Ríos, R. S. A. (eds.). *Memoria del simposium aportaciones de la genotecnia a la Agricultura*. Sociedad Mexicana de Citogenética. Chapingo, Estado de México. 10-35 pp.
  23. Delgado, S.A. 1988. *Variation, taxonomy, domestication and germplasm potentialities in Phaseolus coccineus*. In: *genetic resources of Phaseolus beans*. Gepts, P. (ed.). Kluwer Academic Publishers. 441-463 pp
  24. International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1983. *Phaseolus coccineus descriptors*. Roma, Italia. 32 p.
  25. Zizumbo-Villarreal, D. y P. Colunga-García-Marín. 2010. *Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica*. *Genetic Resources and Crop Evolution* 6:813–825.
  26. Patricia Vargas-Vázquez<sup>1</sup>, José S. Muruaga-Martínez<sup>1</sup>, Sandra E. Martínez-Villarreal<sup>1</sup>, Régulo Ruiz-Salazar<sup>2</sup>, Sanjuana Hernández-Delgado<sup>2</sup> y Netzahualcóyotl Mayek-Pérez (2010) *Diversidad morfológica del frijol ayocote del Carso Huasteco de México*. *Revista mexicana de biodiversidad versión On-line* ISSN 2007-8706 versión impresa ISSN 1870-3453 *Rev. Mex. Biodiv.* vol.82 no.3 México sep. 2011
  27. Zavala Olalde, Julia Angélica; Vargas Vázquez, Patricia; Muruaga Martínez, José S. *Comparación del desarrollo de tres variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris) y*

- una de frijol ayocote (P. coccineus) Agricultura Técnica en México, vol. 26, núm. 2, julio-diciembre, 2000, pp. 173-181 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Texcoco, México*
28. Dursun, D., Dalgic, A.C., 2016. Optimization of astaxanthin pigment bioprocessing by four different yeast species using wheat wastes. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 7, 1–6.
  29. Sath, P.K., Kumar, S., Chawla, P., Duhan, J.S., 2018. Fermentation: a boon for production of bioactive compounds by processing of food industries wastes (by-products). *Molecules* 23 (10), 2560.
  30. Tang, J., Wang, X., Hu, Y., Zhang, Y., Li, Y., 2016. Lactic acid fermentation from food waste with indigenous microbiota: effects of pH, temperature and high OLR. *Waste Manage.* 52, 278–285.
  31. Roberto Docampo; 2013. COMPOSTAJE Y COMPOST. *Revista INIA* 63-67. [128221231213112259.pdf \(inia.uy\)](https://doi.org/10.12822/1231213112259.pdf)
  32. Pierre Juteau, 2006. Review of the use of aerobic thermophilic bioprocesses for the treatment of swine waste, *Livestock Science, Volume 102, Pages 187-196, ISSN 1871-1413*, <https://doi.bibliotecabuap.elogim.com/10.1016/j.livsci.2006.03.016>.
  33. A.J. Biddlestone & K.R. Gray (1991) *Aerobic Processing of Solid Organic Wastes for the Production of a Peat Alternative: A Review*, Volumen 26, Páginas 275-279. [https://doi.org/10.1016/0032-9592\(91\)85014-F](https://doi.org/10.1016/0032-9592(91)85014-F)
  34. Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura (FAO), *Propiedades físicas del suelo. [Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura](#)*
  35. Jack, A. L., & Thies, J. E. (2006). Compost and vermicompost as amendments promoting soil health. *Biological approaches to sustainable soil systems*, 453-466.
  36. Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorisation and sustainable approach for circular bioeconomy <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141312>
  37. Bronick, C. J. and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
  38. Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P. y Clarck, D. (2009). *Biology of microorganisms. Twelfth Edition. Pearson. Benjamin Cummings*
  39. Hargreaves. J. C., Adl, S. y Warman. P. R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (123), 1-14. Nombre del sitio web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880907001909>
  40. Bueno, M. P., Díaz, B. M. y Cabrera, C. F. (2008). Factores que afectan el proceso de compostaje. En C. J. Moreno y H. R. Moral, *Compostaje* (pp. 95-109). Madrid: Mundi-Prensa. Nmbre del sitio web: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

41. Ann Marie Hendry(2017), *How to Grow Runner Beans*, <https://www.growveg.com/guides/how-to-grow-runner-beans/>
42. Caroca, R., Zapata, N. and Vargas, M. (no date) *Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de Maní (arachis hypogaea L.)*, *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía, Facultad de Ingeniería Agrícola y Facultad de Ciencias Veterinarias. Available at: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0719-38902016000200002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-38902016000200002) (Accessed: December 12, 2022).
43. Probert, R.J. 2000. *The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination*. p. 261-292. In M. Fenner. (ed.). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CAB International, Wallingford, United Kingdom.
44. Hadas, A. 2004. *Seedbed preparation: The soil physical environment of germinating seeds*. p. 3-49. In R.L. Benech-Arnold and R.A. Sanchez (eds.). *Handbook of Seed Physiology: Applications to Agriculture*. Food Product Press, New York, USA.