



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Química



Colegio de Ingeniería Ambiental

Tesis para obtener el grado de: Licenciatura en Ingeniería Ambiental

Título: **Diagnóstico y propuesta de recuperación de residuos urbanos en el municipio de Calpulalpan, Tlaxcala.**

Presenta: Iran Berenice Del Razo Del Canto

Directora: Dra. Janette Arriola Morales

Codirector: Daniel Cruz González

Puebla de Zaragoza junio 2022

Índice

Introducción	4
Planteamiento del problema.....	7
Justificación	8
Objetivos.....	9
General	9
Específicos	9
Marco teórico.....	10
Tlaxcala.....	10
Calpulalpan.....	10
Legislación	11
México.....	12
Sobre la disposición final.....	13
Tlaxcala.....	14
Información del municipio	15
Relleno sanitario de Nanacamilpa	16
Compostaje	17
Factores en el proceso del compostaje	17
Temperatura	17
Oxígeno	18
Humedad.....	18
pH.....	19
Lixiviados	20
Curva de crecimiento microbiano	20
Sistemas de compostaje.....	22
Sistema abierto	23
Sistema semicerrado	24
Sistema cerrado.....	24
Beneficios de la composta en el suelo.....	24
Calidad de suelo	24
Materia orgánica del suelo.....	25
Humus	26
Evaluación cualitativa.....	27

Ensayo de infiltración	27
Densidad aparente	27
pH del suelo.....	27
Estabilidad de agregados.....	27
Ensayo de lombrices.....	27
Determinación de cloruros	28
Carbonatos	28
Materiales alofánicos y/o complejos órgano-aluminico.....	28
Sulfatos.....	28
Arcilla naturalmente dispersa	28
Materia orgánica	28
Manganeso.....	28
Metodología.....	29
Descripción del sitio	29
Primera etapa.....	32
Sitio para compostaje.....	32
Segunda etapa.....	38
Mejorador de suelos	38
Delimitación de la zona	38
Análisis cualitativo de las muestras	42
Ensayo de infiltración en campo	42
Ensayo de densidad aparente	43
Ensayo de densidad.....	44
Ensayo de pH.....	45
Ensayo de estabilidad de agregados.....	45
Ensayo de lombrices.....	46
Presencia de cloruros	47
Presencia de carbonatos	47
Alcalinidad con malores mayores a 8.3 pH.....	48
Materiales alofanicos y/o complejos organo-aluminico.....	48
Sulfatos.....	48
Arcilla naturalmente dispersa	48
Materia orgánica	49

Manganeso.....	49
Resultados y discusión	51
Ensayos comparativos aplicados al suelo	51
Conclusiones y recomendaciones	57
REFERENCIAS.....	63

Introducción

En el último siglo han existido un conjunto de temas que ha generado gran controversia y preocupación a investigadores, especialistas en cambio climático, gobiernos, activistas y población: la contaminación ambiental y calentamiento global, estos solo tienen un responsable, la especie humana.

Desde la existencia del hombre en la tierra ha buscado cubrir sus necesidades y conforme ha ido avanzando el tiempo ha buscado mejorar su estilo de vida con mayor confort, no solo buscando cubrir necesidades básicas, desafortunadamente durante esta búsqueda por mejorar y crear nuevos artículos productos, comida, equipos, entre otros, había olvidado un punto fundamental y todo por lograr mejorar su comodidad en diferentes aspectos de su vida, los recursos naturales. Gracias a las materias primas es capaz de producir todo lo que le rodea, pero la pregunta fundamental es ¿a qué costo ha elaborado todo esto? Sin otorgarle la importancia requerida a su aprovechamiento desmedido.

Los recursos naturales no renovables cada vez son menos y los solemos emplear para todo en nuestro día a día, la parte más lamentable pocas son las personas, asociaciones, grupos y gobiernos que se preocupan y ocupan de este gran problema, el calentamiento global otro tema que comienza a tomar relevancia solo porque ya se han observado consecuencias considerables en el cambio repentino de tiempo alrededor del mundo, afectaciones considerables en la cadena de suministro de alimentos, alteraciones severas en la salud de la población mundial.

Es bueno cubrir nuestras necesidades pero también es importante tomar conciencia de todo lo que se está tomando, generando y el sitio donde está siendo desechado todo eso y ya no es solo por cubrir necesidades básicas, todo esto está yendo más allá y se va saliendo de control poco a poco, solo por cumplir caprichos, ganar más dinero, competir entre empresas, descuidando lo más valioso que tenemos la naturaleza, los maravillosos seres vivos que nos rodean, menospreciando todo lo que son capaces de hacer y brindarnos para nuestra existencia. Desde los objetos inanimados, los organismos microscópicos, árboles, plantas, mares, ríos que coexisten para que la vida en la tierra sea posible. Lo único que le hemos aportado es contaminación y destrucción, emisión de residuos al aire, al suelo y al agua, terminando con especies, cuerpos de agua, desertificando suelos, solo por cumplir caprichos y sin ser responsables de esto.

El aumento de población ha sido demasiado y un factor sumamente importante, tanto que no se da la oportunidad a los recursos de regenerarse siendo tanta su demanda y poco o nula el apoyo por parte de la especie humana, si, han existido enfermedades, guerras, accidentes, pestes, pandemias, eventos naturales

catastróficos, entre otros que han ocasionado la disminución de la población, sin embargo, el número de habitantes en los últimos años va aumentando y con esto la necesidad de satisfacer necesidades, pero también ocupar más recursos para esto, creciendo la mancha urbana, empleando más recursos, generando más desechos, y contaminando más espacios.

En este punto hablamos de la generación de residuos, después de que satisfacemos aquellas “necesidades”, obtenemos productos para nuestro confort, suele generarse algo mejor conocido como desecho, ese residuo obtenido después de disfrutar una paleta, fruta, automóvil, electrodoméstico, regalo de cumpleaños, entre muchos más, suelen tener varias consecuencias negativas a nuestro entorno y más aún si no se le aplica un correcto manejo para su disposición final desde algo tan fundamental como realizar su separación, existen algunos puntos principales que no solemos prestarles relevancia sobre la generación de residuos, la cantidad que se genera de estos, su composición, lo que pueden emitir al medio durante su empleo y por último el sitio de disposición final, además de las enormes cantidades de recursos para su generación, tendríamos que ser capaces de contribuir, un poco de todo aquello que se ha empleado, buscando la manera de mejorar la generación y la disposición final de aquellos productos, hacer un bien, no continuar dañando y consumiendo recursos de manera desmedida.

Todas las repercusiones que se han observado últimamente han sido de gran utilidad, ya que esto ha permitido la generación de nuevas técnicas, procesos, conocimientos sobre la creación de productos que reduzcan el impacto generado al ambiente, considerando aspectos desde su diseño, prototipos, producción y desecho, ayudando a crear conciencia de la importancia de crear, emplear y adquirir productos que se preocupen por el medio ambiente permitiendo una economía circular, preocupada también por la disposición final de todos esos materiales y su extracción.

Se han generado nuevas ideas de reciclaje como eco ladrillos, productos de embalaje más amigables, productos de uso diario como jabón, shampoo, crema entre otros sin contenedores desechables para su distribución, desechables a partir de materiales con un tiempo considerablemente menor de degradación, productos de higiene personal más amigables con el ambiente, se han retomado medidas que solían realizarse por nuestros abuelos o bisabuelos como llevar tu bolsa o canasta para el mandado, técnicas de recolección de agua pluvial, se han creado más centros de recolección de materiales como PET, cartón, unicel, metales, ropa, electrodomésticos, entre otros, permitiendo poder emplear los residuos para otros proyectos o productos, reduciendo el consumo de recursos naturales, aprovechando los materiales, disminuyendo el volumen requerido para los sitios de disposición final. Uno de los residuos que pueden ser más difíciles de aceptar o

encontrar centro de acopio son los orgánicos, un tipo de desecho que se genera todos los días en las casas habitación, con tan solo comer una fruta podemos estar generando un residuo orgánico, claramente ocupan un espacio en los tiraderos sin embargo la mayor preocupación de estos corresponde a la infiltración de lixiviados.

Los residuos orgánicos muchas veces son desvalorizados por no presentar una ganancia monetaria directa sin embargo estos pueden causar bastantes desventajas en los rellenos sanitarios, enfermedades, propagación de enfermedades por vectores entre otros. Motivo por el cual se ha dedicado a generar información sobre su aprovechamiento algo muy importante para mostrar a las diferentes comunidades.

Es un tema que suele causar diferentes interrogantes por poder llevar a cabo su elaboración, sin embargo, se han generado considerables técnicas, con diferentes características, adaptándose a espacios, materiales, condiciones, que es complicado no encontrar una técnica aplicable a una casa habitación.

Como parte de la preocupación por el aprovechamiento de este tipo de residuos surge el presente tema de investigación enfocado a la población de Calpulalpan, Tlaxcala, tomando en consideración el suelo que existe en la zona, con residuos de una casa habitación, considerando el tiempo de la zona, empleando los materiales disponibles para poder llevar a cabo el proceso de compostaje y por medio de este aprovechar aquellos residuos orgánicos que su destino sería un relleno sanitario cuya expectativa de vida ha sobrepasado su límite y se sigue empleando. Con el objetivo de más adelante poder compartir de manera informativa con la población la oportunidad que tienen de contribuir con la disminución de residuos destinados al relleno sanitario y aprovechar la composta para su uso.

Planteamiento del problema

A partir de la presencia del hombre en la tierra, junto con su evolución este fue modificando el tipo de residuos que generaba y el tratamiento que le daba a estos, sin embargo su capacidad se veía limitada al momento de aprovechar esto, siendo nómada únicamente se preocupaba por llegar a un nuevo lugar en el cual pudiera satisfacer sus necesidades, alimento, resguardo, condiciones climáticas soportables, hasta el momento en que se dio cuenta que con los residuos generados de alimentos podía generarse más alimento, vertiendo estos sobre el suelo lo que ayudó a que su permanencia en un lugar fuera posible convirtiendo a este en un sedentario aprovechando los recursos de su alrededor y aprender más sobre el cultivo de alimento.

Conforme avanzo el tiempo las poblaciones humanas fueron aumentando y como consecuencia también incremento la cantidad de residuos que este generaba, tuvo que ser en base a experiencias un tanto desagradables que aprendió sobre el tipo de generación de residuos y como estos tenían que ser manejados de una forma diferente para reducir las enfermedades que ocasionaban. Sin embargo, seguía aprendiendo sobre la producción de alimento, objetos, materiales para su sobrevivencia y la generación de residuos que todo esto ocasionaba.

Después llegó una era importante para el ser humano y el medio ambiente, la revolución industrial, el mundo empezó a innovar y aumentar la producción de diferentes artículos para todos los ámbitos de su vida, desafortunadamente su conciencia sobre la emisión de residuos era mínima o incluso nula.

Afortunadamente con las diferentes experiencias y el pasar de los años se ha ido generando conciencia sobre los residuos y han surgido ideas sobre el aprovechamiento y tratamiento de estos, actualmente existe una gran preocupación por los daños ocasionados, por la gran cantidad de tiraderos, rellenos sanitarios, sitios de disposición final de los residuos, su mal manejo y en muchos casos la inconciencia de los habitantes para la separación y aprovechamiento y esto beneficia al lugar en el que coexiste con otras especies y materiales que emplea para su comodidad.

Una de las opciones para aportar individual o familiarmente a la reducción de los residuos generados en casa habitación que ocasionan un incremento considerable en el volumen de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, contaminación de suelo y agua por la formación de lixiviados principalmente, es el aprovechamiento de residuos orgánicos por medio de la elaboración de composta.

Justificación

La composta es una técnica que ha tenido diferentes métodos de aplicación y desarrollo, a diferentes escalas, variación de parámetros, en diferentes espacios, componentes diferentes, pero lo más importante de esto es el impacto que se puede generar con acciones simples que se consiguen al tener un mejor conocimiento sobre el aprovechamiento de los residuos.

La parte más compleja pero desafiante es lograr crear conciencia en los diferentes habitantes de los municipios, logrando adaptar las técnicas de composta a los espacios disponibles de sus hogares, compartir la importancia de elaborar estas técnicas y evidenciar las grandes ventajas y el aprovechamiento que puede tener el elaborar una composta casera con sus recursos no solo para su beneficio, también cooperar con la comunidad y así mismo beneficiando el ecosistema en el que se desarrolla.

El municipio de Calpulalpan cuenta con una gran cantidad de ejidatarios los cuales año con año hacen uso de sus tierras y generan residuos, por medio de ellos se podría llevar a cabo un taller para proporcionar información sobre un mejor tratamiento de los residuos y que al final del proceso puedan aplicarlo a sus parcelas. Así mismo diseñar pláticas y prácticas en las escuelas de nivel básico y medio superior, apoyándose de padres, maestros y gobierno municipal, para generar conciencia y ánimo a los participantes sobre los beneficios que tiene elaborar una composta.

Por lo cual es de gran importancia iniciar actividades referentes a la transformación de los residuos sólidos orgánicos en casa y emplear en los campos el abono producido en la composta.

Objetivos

General

- Aprovechar por medio de la elaboración de una composta los residuos orgánicos generados en una casa habitación del municipio de Calpulalpan Tlaxcala, considerando las características que presenta el sitio.

Específicos

- Crear conciencia sobre la generación de residuos en una casa habitación
- Fomentar la separación de residuos
- Reducir la cantidad de residuos destinados al tiradero municipal
- Elaborar una composta con los residuos orgánicos generados
- Monitorear la composta elaborada
- Obtener un abono rico en nutrientes
- Mejorar la calidad del suelo de traspatio

Marco teórico

Tlaxcala

Considerado dentro de los estados más pequeños del país se encuentra en la región centro, con una superficie estatal total de 3,997.2 Km², con una altitud de 2,230 metros sobre el nivel del mar, colindando al norte con el estado de Hidalgo y Puebla, al este y sur con Puebla y al oeste con México, Puebla e Hidalgo, el clima es templado Subhúmedo con lluvias en verano, su precipitación media anual es de 600 a 1,000 mm, la principal elevación con la que cuenta el estado es el Volcán Malinche con 4,420 MSNM, con una población de 1346978 habitantes en el año de 2019.

El sector primario del estado corresponde a la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, el sector secundario corresponde a la industria extractiva y de electricidad, industria manufacturera y construcción, el sector terciario corresponde al comercio, servicios de transporte, comunicación, profesionales, financieros, sociales, gobierno y otros. Información proporcionada por la Encuesta Nacional de Ocupación y empleo (ENOE) 2019, IV Trimestre, Tabuladores e indicadores de Ocupación y Empleo, INEGI.

Los principales cultivos del estado correspondientes al ciclo agrícola de cultivo Otoño-invierno 2019 corresponde a la avena forrajera en verde con un volumen de producción de 18 395.58 toneladas, seguido del triticale forrajero verde con un volumen de producción correspondiente a 2 937 toneladas, la haba verde con un volumen de producción de 2 214.44 toneladas, en el ciclo agrícola Primavera - verano 2019 el mayor volumen de producción corresponde a la avena forrajera verde con 315 082.75 toneladas, seguida por maíz grano con un volumen de producción de 309 754.25 toneladas y maíz forrajero verde con un volumen de producción de 250 635.41 toneladas. Entre los cultivos perenes se encuentra la alfalfa con un volumen de producción de 182 347.16 toneladas, seguido del maguey pulquero con un volumen de producción de 37 499.00 toneladas y en tercera posición se encuentran los pastos y praderas con un volumen de producción de 9 485.65 toneladas, entre otros cultivos. (Agenda estadística, 2020)

Calpulalpan

Municipio perteneciente al estado de Tlaxcala, que en lengua náhuatl significa lugar de las casas grandes nombre que se puede confirmar con la arquitectura presente en el primer cuadro de la ciudad, ubicado en el Altiplano central de México, a una altura de 2,580 msnm, este es mejor conocido como la puerta grande al estado de Tlaxcala debido a su colindancia con el estado de Hidalgo y el estado de México, cuenta con una superficie de 254.82 km², representando 6.38% del total del territorio

del estado, el relieve en el municipio presenta tres formas características: zonas planas en un 75%, zonas accidentadas 15% y zonas semiplanas comprendidas por el 10%. Los recursos hidrográficos son escasos se encuentra el Arroyo Amaxac con una longitud aproximada de 7km. El clima de la región es considerado semifrío húmedo, con régimen de lluvias de abril a septiembre, la temperatura máxima promedio anual registrada es de 22.2° C y la mínima es de 5.9°C, la precipitación promedio máxima registrada es de 126.2 mm y la mínima es de 9.7mm. La flora que se observa en la región por sus características geográficas y climatológicas está compuesta principalmente por bosques de pino, oyamel y campo magueyero, también se puede encontrar cedro blanco, tejocote, zapote blanco, capulín, trueno, álamo blanco, casuarina y eucalipto. Dentro de su fauna silvestre se encuentran: liebres, tuzas, conejos, ratón de campo, codorniz, coyote, víbora de cascabel y tlacuache. El tipo de suelo presente en el municipio corresponde a cambisoles, fluvisoles, litosoles, andosoles y regosoles; el uso actual del suelo correspondiente a una extensión de 14,572 hectáreas de las cuales 14,086 ha representadas por un 96.7% constituyen la superficie de labor, tierras dedicadas a cultivos anuales o de ciclo corto, frutales y plantaciones, el resto pertenece a: pasto natural con 253ha, bosque o selva 210 ha y 41ha tierras sin vegetación. (INAFED, 2021)

Legislación

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) la definición de Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o un gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven; (AGENDA ECOLÓGICA FEDERAL 2019, 2019)

Si nos ubicamos en un punto más específico presenta la definición de Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que proviene de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta ley como residuos de otra índole;

La LGPGIR menciona en su ARTÍCULO 10. Los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos, que consisten en la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final.

México

En base a la información proporcionada por el informe 2012 se menciona que las cifras reportadas de Residuos Sólidos urbanos contienen limitaciones considerables ya que estas han sido estimadas. Calculadas por la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) con base en la norma oficial mexicana NMX-AA-61-1985 Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de la generación, con la información de esta dependencia en 2011 se generaron 41 millones de toneladas, equivalente a 112.5 mil toneladas de RSU diarias aproximadamente. Se ha registrado un incremento en la generación de RSU, entre 2003 y 2011 creció 25% debido al crecimiento urbano principalmente, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas, los patrones de consumo. La generación de RSU varía de acuerdo con la ubicación geográfica, en base a la regionalización de Sedesol, la región centro en el 2011 contribuyo con el 51% de la generación total en el país, continuando la región Frontera Norte con el 16% y el Distrito Federal con el 12%. Por entidad federativa los mayores volúmenes de RSU en 2011 fueron el estado de México con 16%, distrito Federal 12%, Jalisco 7%, Veracruz 5.5 y Nuevo León 5% y las entidades con menores volúmenes fueron Nayarit y Tlaxcala con 0.8%, Baja California Sur y Campeche 0.6% y Colima 0.5%. Las entidades federativas y regiones del país muestran diferencias importantes en la generación per cápita esto influenciado por factores culturales, niveles de ingreso, grado de urbanismo, entre otros. El Distrito Federal en 2011 registró la mayor generación per cápita, con 1.5 kilogramos diarios en comparación con habitantes de la región Sur con un promedio de 0.76 kilogramos por día.

La composición de los RSU que también es un aspecto importante para considerar ya que ha tenido cambios considerables, su composición puede variar en base a los ingresos de cada país, observando poca generación de residuos en donde predominan residuos orgánicos correspondiente a países con menores ingresos y los de mayores ingresos con mayor cantidad de residuos predominando los inorgánicos.

Un punto bastante importante dentro de los RSU es su manejo adecuado y disposición final, sus objetivos principales son cuidar de la salud de la población y reducir el impacto provocado a los ecosistemas. Sin embargo es una tarea bastante complicada y poco desarrollada adecuadamente por diferentes razones como el desinterés por parte de las autoridades, presupuestos cortos para la creación de espacios adecuados para la disposición final, la falta de ocupación y preocupación por la población en general sobre la separación de los residuos entre otros.

En el año de 1998 se estima una recolección del 85% de residuos generados en el país y en el 2011 alcanzo un 93%, observando diferencias notables de acuerdo con el tamaño en las localidades, es más común que exista una recolección constante

es zonas metropolitanas en comparación con zonas rurales o semiurbanas donde el servicio de recolección es escaso o incluso nulo, situación desfavorable que en muchas ocasiones conduce a la incineración de los residuos. Los estados que registraron mayor recolección de residuos en México durante el año 2011 fueron Aguascalientes (98.8% del volumen generado), Baja California Sur (97.7%), Nuevo León (97.6%), Baja California (97.5%), Distrito Federal (97%), Querétaro (96.5%) y Tlaxcala (95.8); los estados con menor recolección fueron Michoacán (85.8%), estado de México (86.8%), Hidalgo (87.6%), Nayarit (89.3%), Veracruz (89.8%), Morelos (89.9) y Tabasco (90.3%) (RESIDUOS, 2013)

Un punto demasiado importante sobre el manejo y la disposición final de los residuos es el reciclaje, ya que esto conduce a diferentes beneficios considerables y de gran impacto, el reciclaje permite reducir considerablemente el espacio requerido para la disposición final de los residuos, se evita o reduce la extracción de más recursos naturales, a pesar de todas estas consideraciones en México existe muy poca cultura sobre esto y esto definitivamente no es la solución, algo aún más importante es reducir la producción y consumo de productos de un solo uso, buscar opciones que tengan una vida útil más amplia y una cadena de retorno. Las cifras obtenidas en los sitios de disposición final muestran que en 2011 se recicló 4.85 del volumen de RSU generados; Del volumen total de RSU reciclados en 2011, el mayor porcentaje correspondió a papel, cartón y productos de papel (42.2%), seguido por vidrio (28.6%), metales (27.8%), plásticos (1.2%) y textiles (0.2%). (RESIDUOS, 2013)

[Sobre la disposición final](#)

En el país se cuenta con dos tipos de sitios de disposición final: los rellenos sanitarios y los rellenos de tierra controlados. NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, menciona que los rellenos sanitarios deben: 1) garantizar la extracción, captación, conducción y control de biogases generados, 2) garantizar la captación y extracción de los lixiviados, 3) contar con drenajes pluviales para el desvío de escurrimientos y el desalojo de agua de lluvia y 4) controlar la dispersión de materiales ligeros, así como fauna nociva y la infiltración pluvial.

En 2011 se estimó que el 72% del volumen generado de RSU en el país se dispuso en rellenos sanitarios y sitios controlados, el 23% se depositó en sitios no controlados y el restante 5% se recicló. El análisis por entidades federativas en el 2011 indica que el Distrito Federal, Aguascalientes y Quintana Roo dispusieron el total de sus residuos en rellenos sanitarios, sin embargo, Oaxaca, Chiapas, Tabasco

y Veracruz dispusieron menos del 40% de sus residuos de este tipo de sitios. La cantidad de rellenos sanitarios ha aumentado considerablemente, entre 1995 y 2011 incrementaron de 30 a 196, pasando la capacidad de almacenamiento total de 5.95 a 26.14 millones de toneladas, también en este año se contaba en el país con 20 rellenos de tierra controlados; En la actualidad los estados que cuentan con más rellenos son Puebla con 17, Nuevo León 14, Guanajuato 12 y Tamaulipas 11, mientras que el Distrito Federal y Aguascalientes cuentan con 1 relleno sanitario; En 2011 el 90% de las zonas metropolitanas disponían adecuadamente sus residuos en rellenos sanitarios y sitios controlados mientras que solo el 13 % en las localidades rurales o semiurbanas lo hacían de la misma manera. (RESIDUOS, 2013)

Tlaxcala

En el estado de Tlaxcala la generación de residuos ha incrementado anualmente, en el año 2000 se generaban 229750 toneladas de RSU y una década después la generación pasó a ser de 321 200 toneladas, los datos proporcionados por el INEGI indican que en el año 2010 en el estado se recolectaban diariamente 842 130 kilogramos de los 892 222 kilogramos generados al día, la cantidad de estos residuos y sus efectos en el medio ambiente representan un problema relacionado a su manejo adecuado. Se tiene reportado por INEGI que los 60 municipios de Tlaxcala únicamente proporcionan el servicio de recolección y la disposición de los RSU sin proporcionar algún tipo de tratamiento a estos. En 2011 la cantidad de RSU dispuestos en relleno sanitario fue de 286 mil toneladas y la depositada en sitios no controlados, como tiraderos a cielo abierto y basureros clandestinos, más el reciclaje en la entidad fue de 44 mil toneladas

El estado de Tlaxcala cuenta con cuatro rellenos sanitarios ubicados en el municipio de Nanacamilpa (Calpulalpan), Huamantla, Panotla y Apizaco las características de cada uno de estos se muestra en la tabla que se presenta a continuación

Relleno sanitario	Superficie (Ha.)	Capacidad disponible (m ³)	Ingreso (ton/día)	Población beneficiada	Vida útil (años)
Calpulalpan	11	239 948	87	97 877	3
Huamantla	8	170 289	139	169 996	2
Apizaco (Morelos)	15	197 603	216	287 239	2
Panotla	69	2 025 509	490	614 713	23

El estado cuenta con centros de acopio y reciclaje privados de materiales los cuales forman parte importante en el manejo adecuado de los materiales que se utilizan y desechan.

El estado cuenta con la Ley de Ecología y Protección al Ambiente del estado que señala las disposiciones generales en materia de residuos sólidos no peligrosos y el Reglamento de la Ley de Ecología y de Protección al Ambiente en Materia de Residuos sólidos no Peligroso que señala las medidas para prevenir y controlar la contaminación del suelo generada por fuentes emisoras de residuos sólidos, sin embargo en el estado no existe una Ley en materia de Residuos adecuada en base a las condiciones socio-económicas para que apoye la gestión integral de residuos. Además de los 60 municipios que conforman el estado únicamente 34 de estos cuentan con un reglamento que contenga disposiciones referentes a la gestión de residuos sólidos. (Rellenos sanitarios en el estado de Tlaxcala, 2021)

Información del municipio

En base a la información recolectada y publicada en el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Tlaxcala informa sobre un diagnóstico básico del municipio de Calpulalpan la cual fue proporcionada por el Coordinador de ecología, se menciona que en el municipio se recolectan aproximadamente 98 toneladas diarias de residuos, los cuales su disposición final es el relleno sanitario del municipio de Nanacamilpa situado a 10 kilómetros aproximadamente de Calpulalpan, de acuerdo con el diagnóstico menciona que solo 85 % de la población total es atendida en la recolección de residuos las comunidades que no cuentan con el servicio de recolección proceden con la incineración de sus residuos, contemplando la cabecera municipal y 11 de las 13 comunidades pertenecientes al área de Calpulalpan, no se realiza ningún tipo de separación.

De acuerdo con el diagnóstico en ese momento se contaba con una planilla de servicio de limpia de 15 trabajadores en el servicio de recolección y 8 en el servicio de barrido que cuenta con carros de recolección con capacidad de 50 kg; para la recolección se contaba en ese momento con 7 unidades de uso exclusivo para la recolección, 3 de estas de tipo volteo 2 con capacidad de 5 toneladas, una con capacidad de 3 toneladas; las otras 4 unidades de tipo compactador con capacidad de 10 toneladas. También se mencionan los gastos correspondientes al servicio de limpia los cuales son \$32,800 en combustible, \$45,000 en sueldos y \$5000 de mantenimiento con un aproximado total mensual de \$82,000 mensuales aproximadamente. (Ecología 2016)

Se menciona que los residuos generados correspondientes al municipio han sido dispuestos por 22 años en el relleno sanitario del municipio de Nanacamilpa. El

diagnóstico indica que no se realizaba en ese momento algún tipo de tratamiento de los residuos, únicamente se realizaba la separación de un 10% de material reciclable.

También en el programa se menciona que la regulación respecto al manejo de los residuos sólidos del municipio se encuentra en el Reglamento Interno Municipal, así como en el Reglamento de Ecología Municipal de Calpulalpan.

De acuerdo con el Anuario estadístico y geográfico del Tlaxcala 2017, en el apartado Viviendas particulares habitadas por municipios según distribución porcentual de la forma de eliminación de residuos al 15 de marzo de 2015 en el municipio de Calpulalpan la forma de eliminación de residuos en porcentaje está dividida de la siguiente forma de un total de 12 183 viviendas, 98.03% de los residuos se entrega al servicio público de recolección, el 0.66% se tira en el basurero público o colocan en contenedor o depósito, el 1.03% es quemado, el 0.12 se entierra o tira en otro lugar y por último el 0.13 no se especifica. (INEGI, 2017)

Relleno sanitario de Nanacamilpa

La información proporcionada en la página la Coordinación General de Ecología, en su apartado de rellenos sanitarios reporta la existencia de 4 rellenos correspondientes al Estado, el Relleno Sanitario de Nanacamilpa, Relleno sanitario de Huamantla, Relleno Sanitario de Morelos y el Relleno Sanitario de Panotla; el relleno sanitario destinado para el vertido de los RSU correspondientes al municipio de Calpulalpan es el Relleno Sanitario de Nanacamilpa; Este se ubica al noroeste del poblado de Nanacamilpa en el municipio de Mariano Arista se localiza entre los límites de los municipios de Calpulalpan y Nanacamilpa, de acuerdo a la información proporcionada por la página este cuenta con una superficie de 7.2 Ha, cuenta con una vida útil de 3 años, tiene un ingreso de 87 toneladas por día, proporciona servicio a 6 municipios, se menciona que la población beneficiada es de 97,877 Habitantes, como equipo de apoyo cuenta con un tractor D7-G, el personal por el que es manejado es 1 operador y 3 auxiliares técnicos; Se menciona que es una propiedad ejidal de la cual se firmó un contrato de común acuerdo para su construcción entre el comisariado ejidal y el SICORT (Sistema para el Control de Residuos Sólidos del Estado de Tlaxcala), el contrato tiene validez por 10 años y este contrato fue firmado en 1990, el relleno sanitario es aprovechado por los municipios de Benito Juárez, Calpulalpan, Nanacamilpa y Santorum. En el documento se informa que se está trabajando en el nuevo contrato con los ejidatarios.

Compostaje

Mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. (Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A., 2013)

Factores en el proceso del compostaje

Los factores ambientales siempre juegan un papel muy importante en todos los aspectos del ecosistema con el que interactuamos ya que por ello es posible que se lleven a cabo procesos como la fotosíntesis, el ciclo del nitrógeno, ciclo del agua, entre otros los cuales permiten la vida en este planeta, resaltando la importancia de su equilibrio, podemos observar su gran afectación en algo tan impresionante como el calentamiento global, en algunas partes del mundo existe una gran cantidad de precipitaciones, en otros lugares sequías intensas y cada vez es más notorio este efecto, visto a una escala, sin embargo muchas ocasiones no le damos la importancia que requiere a cosas un poco más pequeñas pero con grandes repercusiones, con esto podemos notar la gran importancia de los factores ambientales con un enfoque especial en el suelo. Cada factor toma gran relevancia en la capacidad para degradar y transformar los residuos en materia capaz de absorber por las raíces de plantas y permitir al suelo recuperar propiedades que le ayudan a su conservación y capacidad para seguir sirviendo de sostén tanto de animales como de plantas. A continuación, se abordará con más detalle cada uno de estos factores y será posible reconocer la importancia de cada uno de estos para la transformación de residuos orgánicos.

Temperatura

Es uno de los factores determinantes en el proceso de compostaje debido a que esta será la encargada de la regulación de la actividad y reproducción microbiana y también participará en la determinación de la etapa en la que se encuentra la composta. Debido a la actividad microbiana existe una generación de energía en forma de calor y esto depende de los consorcios microbianos presentes y los requerimientos que les permiten trabajar en la degradación de los residuos, también se debe de considerar la temperatura del medio que tendrá una gran influencia en la actividad microbiana, no tendremos los mismos resultados de degradación en un sitio con clima templado a uno clima frío en el mismo rango de tiempo, podremos obtener una mejor y más rápida degradación en un clima templado, claro sin olvidar los demás factores a considerar. Dentro de los microorganismos considerando su temperatura óptima de acuerdo con su curva de crecimiento microbiano se encuentran los psicrófilos los cuales su temperatura óptima esta entre los 5 a 15 °C, los mesófilos se encuentran de 15 a 40°C y los termófilos se encuentran de 40 a 70° C, para su óptimo desarrollo.

En el proceso del compostaje basado con la temperatura se pueden encontrar cuatro etapas principalmente, las características o especificaciones varían de acuerdo con el autor de consulta, en este caso se mencionarán las etapas: mesófila, termófila, de enfriamiento y madurez. Las primeras tres corresponden a la fase de bio-oxidación comenzando con la degradación de sustratos fácilmente biodegradables como glucosa, ácidos grasos, almidón, entre otros, después de estos continúa la degradación de sustratos que son más difícil de degradar motivo por el cual la actividad microbiana se ve reducida ocasionando al mismo tiempo la liberación de energía y por ende la temperatura sustratos como celulosa, proteínas, por último, en la fase de madurez ocurre la formación de sustancias húmicas.

Oxígeno

Es uno de los elementos indispensable para el metabolismo aerobio de los microorganismos, su requerimiento varía de acuerdo con la etapa en la que se encuentra el compostaje, cuando existe una mayor actividad de los microorganismos existirá una mayor demanda de este, se puede inferir que será en la fase mesófila y al inicio de la termófila ya que se espera un mayor crecimiento microbiológico. En contraste con la última fase que será la que presente los menores niveles de oxígeno, ya que este ha sido empleado en las fases anteriores, esto es una ventaja ya que evita que los compuestos húmicos continúen con su degradación. Un exceso de oxígeno podría ocasionar el descenso de temperatura y pérdida de humedad por evaporación ocasionando un retraso en la velocidad de descomposición, también se debe considerar que una baja presencia de oxígeno en el suelo puede ocasionar exceso de humedad, produciendo olores desagradables y un ambiente anaerobio, lo cual también retarda el proceso de descomposición.

Humedad

El agua es un elemento indispensable para la vida y este caso no es la excepción ya que los microorganismos necesitan de la humedad para vivir y realizar aquellos procesos necesarios para la degradación de residuos, el material como proteínas, grasas, celulosa entre otras deben ser hidrolizados para poder ser aprovechados por los microorganismos, dentro de la hidrólisis se llevan a cabo reacciones catalizadas por enzimas que despolimerizan la materia orgánica, los microorganismos encargados de este proceso producen enzimas extracelulares y el sustrato lábil es transportado a través de la membrana citoplasmática celular completando el proceso de degradación convirtiendo las estructuras complejas en simples como aminoácidos o azúcares productos que son directamente aprovechados por los microorganismos para su alimentación y reproducción.

El agua también facilita el desplazamiento de nutrientes y contribuye con la composición y en los estados de agregación de la materia requeridos para el proceso de compostaje, el porcentaje de humedad va disminuyendo por las elevadas temperaturas que alcanza la composta, es importante que la humedad se mantenga para continuar con el proceso, sin embargo es importante no saturar la composta de agua ya que esto puede ocasionar que el proceso se convierta en anaerobio provocando la emisión de malos olores, descenso de la temperatura y como último resultado habrá una disminución de la eficacia del proceso. Esto no implica que la humedad deba permanecer en bajas concentraciones ya que esto ocasionaría que la actividad microbiana y fúngica se vea afectada considerablemente reduciendo la eficacia del proceso y aumentando el periodo de descomposición de materia. Es importante considerar que la cantidad de agua que será añadida dependerán del tipo de residuo incorporado por la humedad que posee y la capacidad de los componentes de absorber esta, teniendo en consideración que la temperatura del agua puede ocasionar efectos adversos por la pérdida de energía a la que será sometida la composta, también es importante considerar el agua proporcionada por el medio de acuerdo la presencia de lluvias si esta se encuentra expuesta a la intemperie, en caso de que esta se haya excedido se puede considerar la aireación como método de apoyo para su evaporación no obstante se debe considerar que esto también podría ocasionar modificación de la temperatura.

De acuerdo con Manual de compostaje de la FAO menciona que la humedad óptima este alrededor del 55% y esta dependerá del estado físico y tamaño de las partículas. Y el rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60 % de agua en peso de material base. (Manual FAO).

pH

En el proceso de compostaje, se encuentra que el valor ideal corresponde a un pH neutro debido a que por lo general los microorganismos tienen un óptimo desarrollo en esta condición, dentro de este proceso se puede señalar que los hongos poseen una mayor tolerancia de pH entre 5 y 9 estos toman gran relevancia en el proceso ya que son importantes en la degradación de los compuestos más complejos, sin embargo las bacterias son más susceptibles a estos valores con un rango comprendido entre 6 y 7.5 motivo por el cual es importante controlar este parámetro para mantener las mejores condiciones de crecimiento y reproducción de los microorganismos. Valores altos de alcalinidad pueden ocasionar alteraciones en la concentración C: N, disminuyendo la cantidad de nitrógeno disponible para los microorganismos elemento requerido para las funciones de estos. En el caso de valores muy ácidos los metales pueden llegar a solubilizarse lo que podría afectar directamente la actividad de los microorganismos por la saturación de estos.

Durante el proceso del compostaje el pH estará fluctuando de acuerdo a la etapa en la que se encuentre, al comienzo del proceso se tendrá un pH bajo debido a los ácidos orgánicos que se crean por la fermentación de los residuos orgánicos, en esta fase el papel más importante lo llevan a cabo los hongos degradando compuestos complejos como la celulosa y lignina, posteriormente el pH ira aumentando hasta valores un poco alcalinos porque ya se ha llevado a cabo el consumo de los ácidos y la actividad microbiana disminuye, por último se espera que se encuentre en un pH neutro ya que se ha llegado al resultado final esperado, el humus.

Lixiviados

La definición proporcionada por la norma NOM-083-SEMARNAT-2003 que habla sobre las especificaciones de los sitios de disposición final, indica que es el líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contienen en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.

Motivo por el cual resulta relevante llevar su recolección adecuada en los sitios de disposición final y más importante aún prevenir su producción, evitando la infiltración de agua (647pag)

Curva de crecimiento microbiano

El proceso de compostaje no sería posible sin la presencia de los microorganismos encargados de la degradación de diferentes compuestos presentes en la materia orgánica como celulosa, lignina, entre otros estos generan un proceso biooxidativo contribuyendo con la mineralización y humificación de los compuestos orgánicos, lo que contribuye directa mente con el aporte de nutrientes al suelo por medio de la composta obtenida, mejorando la textura del suelo y contribuyendo con el crecimiento radicular, poniendo a disposición de las especies vegetales nutrimentos en la rizosfera para su aprovechamiento, esto sucederá dependiendo directamente de la actividad microbiana lo cual depende de las condiciones del sistema considerado los microorganismos iniciales presentes en el proceso el sustrato en el que se está llevando a cabo el proceso ,el oxígeno disponible y la temperatura del sistema para su ciclo de vida. Los procesos de compostaje suelen llevarse a cabo principalmente en fases mesofílicas y termofílicas (dependiendo del autor la primera se encuentra entre 20°C-40°C y 40°-70° respectivamente), los microorganismos mesofílicos son considerados como los eficaces para la degradación de la materia, sin embargo, se busca llegar a temperaturas termofílicas para eliminar microorganismos patógenos que suelen morir en esos rangos de temperatura,

durante el proceso existe una sucesión de microorganismos que van variando de acuerdo a las condiciones que se van presentando en el proceso como la disponibilidad de nutrientes, oxígeno, agua el pH. Los microorganismos con mayor presencia corresponden a las bacterias entre ellas destacan principalmente las *Actinomycetes*, por su capacidad de degradación de compuestos complejos y su resistencia a temperaturas altas como las que suele alcanzar el proceso de la composta, además que estas suelen estar presentes en el suelo. Otro microorganismo que suele estar presente en el suelo y contribuye con la degradación de compuestos complejos son los hongos filamentosos, influyendo en la degradación y solubilización de compuestos orgánicos e inorgánicos. El proceso de compostaje suele ser diferenciado por la fase en que se encuentra y estas dependen de la temperatura que se presenta en el sistema, dependiendo la bibliografía y el autor suele comprender diferentes fases y rangos de temperatura en este caso se mencionan 4 con sus respectivas características que se mencionan a continuación

1. Fase mesofílica (20°C-40°C): En esta etapa comienza la degradación de los compuestos más simples como almidón, azúcares, proteínas lo que genera un aumento en la actividad microbiana por lo tanto un aumento de temperatura, esta fase puede durar horas o incluso días, de acuerdo con la cantidad y tipo de materia, así como la cantidad de microorganismos presentes, en esta suelen predominar los *hongos filamentosos* o mohos y las bacterias mesofílicas acidificantes
2. Fase termofílica (40°C-60°C): En esta fase algunos microorganismos mesofílicos establecen métodos de protección (endosporas o capsulas) para poder sobrevivir a esta etapa pero no para realizar actividad, los microorganismos que entran en acción son los termofílicos, los cuales llevan a cabo la degradación de compuestos más complejos, una mayor actividad de los microorganismos conduce a un aumento en la temperatura del sistema lo que contribuye con la eliminación de organismos patógenos, esta etapa suele durar desde días hasta un mes de acuerdo con los compuestos presentes en el proceso y las condiciones que se sigan manteniendo y cuidando del proceso. Las bacterias termofílicas en este punto se encargan de actuar sobre la hemicelulosa y compuestos como carbohidratos, proteínas, lípidos, alcoholes, polisacáridos, entre otros.
3. Fase de enfriamiento (50°C-20°C): En esta existe una disminución de material fácilmente degradable por lo que la actividad microbiana disminuye y como consecuencia la temperatura también disminuye, etapa en la que la hay una recolonización de población mesofílica con la finalidad de continuar degradando la celulosa, hemicelulosa, lignina y otros polímeros complejos, esta fase puede durar de varios días hasta semanas,

4. Fase de maduración (temperaturas ambientales): Esta fase tiene un papel fundamental en la estabilización de la composta y en la polimerización de sustancias como el humus, esta fase puede durar varios meses, esto dependiendo de los residuos empleados y las condiciones que se hayan cuidado del sistema

Sistemas de compostaje

A partir de la existencia del ser humano en la tierra, después de todo el proceso de evolución que ha ocurrido y como parte de satisfacer las necesidades de este se han generado residuos de diferentes tipos, es hasta el momento en el que se comienza con los grupos sedentarios se comienza a crear conciencia de la capacidad del suelo para crear alimento de nuevo en una misma área y esto podemos relacionarlo con el aprovechamiento de los residuos tal vez no de una manera directa como lo hacemos actualmente pero si como parte del inicio del compostaje.

Acompañado del aumento demográfico de diferentes civilizaciones ocurre el incremento en la generación de residuos como por ejemplo hace más de 4000 años en China, India y Japón de los cuales se encuentran las primeras referencias en el uso de técnicas para la transformación de residuos agrícolas y ganaderos en abono como parte del desarrollo de las culturas por invasiones y conquistas se genera la transmisión del conocimiento de estas técnicas. En 1963 se encuentra en Trujillo Casares España un manuscrito templario fechado en 1182 atribuido Gualdin País maestro templario donde se describe el proceso para la obtención de “humus viviente” u “oro fértil” a partir de restos orgánicos de la agricultura y ganadería.

Para los primeros sistemas de compostaje se emplearon pilas con volteos periódicos contribuyendo a la actividad aerobia de los microorganismos, al comienzo el compostaje únicamente era elaborado con desechos agrícolas, evitando los residuos urbanos los que normalmente eran enterrados o quemados contribuyendo estas actividades en la generación de lixiviados que podían llegar a mantos acuíferos, así como la generación de gases de efecto invernadero. Como parte del aumento demográfica en la población actualmente ha incrementado la generación de residuos y ahora con residuos más complejos de aprovechar por la industrialización, lo que ha llevado a crear conciencia sobre el estudio del aprovechamiento de aquellos residuos que son capaces de regenerar las características principales del suelo que proporciona sustento y nutrición a lo que nos proporciona. Este avance en la industrialización de procesos y aumento en la cantidad de residuos ha conducido a la generación de nuevas técnicas capaces de aumentarla la velocidad el proceso de compostaje y reducir el espacio requerido para este, optimizando el proceso y controlando la emisión de gases o lixiviados que

se solían generar con otras técnicas, sin embargo, también es importante el costo que puede representar tener equipos industrializados para llevar a cabo el proceso de compostaje.

La clasificación de técnicas de compostaje puede variar por diferentes características que pueden presentar por ejemplo sistemas continuos y discontinuos que dependerán de la adición de material continuamente o no, por la forma que puede presentarse o en la que se puede llevar a cabo el proceso, zanjas, pilas, mesetas, entre otras, por la movilidad que se aplique al proceso teniendo sistemas dinámicos o estáticos, sin embargo la clasificación más empleada corresponde al aislamiento de los residuos, encontrando: sistemas abiertos, semicerrados y cerrados, en los cuales se observa la mayor influencia en la variable de aireación. Los sistemas cerrados tienen la ventaja de conservar los malos olores contenidos lo cual toma relevancia cuando su empleo es cerca de zonas habitadas.

El sistema que se emplee dependerá directamente de las características y recursos con los que se cuenta para el desarrollo de la composta, considerando el tiempo que tomara el proceso por la diferentes velocidad con la que puede ocurrir dependiendo el sistema; la disponibilidad de espacio o cantidad de residuos generados, pueden corresponder a una casa habitación con tras patio con área para realizarlo, un departamento, en una comunidad o incluso niveles industriales; La bioseguridad requerida si únicamente es para un jardín, es para hortalizas caseras o para una parcela destinada a producción de alimento para ganado o una parcela para industria alimentaria. La disponibilidad de material, para agregar porosidad, suministrar fuentes externas de nitrógeno o residuos de origen animal. Uno de los factores más importantes las condiciones climáticas de la zona por la cantidad y frecuencia de precipitaciones, la temperatura del lugar, el viento característico de la zona e incluso si es susceptible a eventos climáticos repentinos, tornados, huracanes.

A continuación, se abordarán diferentes sistemas empleados para el compostaje:

Sistema abierto

Este suele ser empleado por sus costos bajos, sin necesidad de equipos tan complejos, empleable en espacios con gran disponibilidad de terreno, para pequeñas o medianas comunidades, son aquellas que se realizan al aire libre o espacios parcialmente cerrados. Este tipo de sistema puede utilizar diferentes pilas de las cuales varia su tamaño, forma y distribución entre ellas de acuerdo con el espacio disponible. Sin embargo, estarán sujetas a las condiciones meteorológicas, puede haber pérdida de material por vientos, alteración por animales del lugar y puede ser más complicado el control de emisión de gases y lixiviados.

Compostaje en pilas o hileras

El material se coloca en pilas o hileras con variación en sus dimensiones, de 1 a 3 m de altura y de 3 a 8m de largo. El tamaño dependerá del espacio disponible, el sistema que se empleará para su aireación puede ser por aireación natural (aireación pasiva) o por medio del empleo de equipo mecánico (aireación forzada) por intervalos o de manera continua. Otro método se realiza por medio del volteo con el fin de homogenizar la mezcla, su temperatura, humedad y mejorar la ventilación, la técnica de volteo se puede realizar cada 6 a 10 días, el equipo empleado para el volteo dependerá del equipo con el que se cuente, desde palas manuales hasta maquinarias de varias toneladas.

Sistema semicerrado

Corresponde a un proceso que se desarrolla en lugar cubierto y cerrado con sistema de extracción por medio de tuberías, por lo regular cuenta con un biofiltro para los gases producidos durante la degradación de los residuos. Suelen ser empleadas para poblaciones medianas o grandes, pueden ubicarse cerca de poblaciones, suele haber un mayor control de las condiciones requeridas para el proceso. El sistema más empleado es el de trincheras también conocido como canales o calles, el material se coloca entre muros con dimensiones de 3 a 5 m de ancho con muros de 2 a 3 m de altura la longitud varía de acuerdo con el sitio y puede ser volteado por diferentes procedimientos. La llegada y salida de material suele realizarse por medio de cintas transportadoras, el tiempo que se toma este sistema puede ser de 30 días hasta 7 semanas. Suelen mantener un sistema de aireación forzada, con agitación mecánica, puede ser un sistema continuo o discontinuo.

Sistema cerrado

En este tipo de sistemas existe un mayor control de los parámetros por los diferentes sensores que pueden poseer, no existe contacto directo con el exterior, existe un mejor control sobre los olores emitidos, suele resultar un producto de mayor calidad, se lleva a cabo en un menor tiempo, suele tener altos costos de equipo.

Beneficios de la composta en el suelo

La aplicación del abono proveniente la composta proporciona al suelo materia orgánica que contiene principalmente nutrientes como C, N, P, K, entre otros. Estos elementos mejoran la calidad del suelo, contribuyendo con su estructura, mejorando la capacidad para retener humedad, disminuyendo la probabilidad de erosión y aumentando la capacidad de proporcionar mayores beneficios para el ecosistema.

Calidad de suelo

La definición sintetizada por el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America SSSA (Karlent, 1997) menciona que es la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener

la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat. Esta capacidad es proporcionada por los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y la interacción que se da entre estos. Por este motivo para poder conocer la calidad del suelo es importante la evaluación de parámetros como: textura, infiltración, densidad aparente, materia orgánica (N y C), pH, conductividad eléctrica, humedad entre otros, lo que conducirá a conocer mejor las propiedades del suelo de acuerdo con la sinergia con el medio.

Materia orgánica del suelo

Está compuesta por biomasa de plantas y animales en diferentes etapas de descomposición, proceso que es posible por los diferentes animales, microorganismos, elementos, compuestos, entre otros, a través de los procesos físicos, químicos y biológicos del medio. Un suelo productivo típico en su fracción sólida está compuesto aproximadamente por el 5% de materia orgánica y el 95% restante por materia inorgánica, también existe otro tipo de suelo con características diferentes como bosques que pueden contener un porcentaje mucho mayor de materia orgánica. Un punto clave respecto al contenido de materia orgánica depende de las rocas originales que dieron formación al suelo. El agua tiene un papel importante ya que es el medio de transporte de nutrientes esenciales de las partículas sólidas, tanto en el suelo como en las plantas. Los suelos con altos contenidos de materia orgánica son capaces de capturar mayores cantidades de agua ya que estos presentan una mayor porosidad beneficiando la actividad de microorganismos, pero esto también puede ocasionar que haya una menor disposición para las plantas por la sorción con la materia orgánica. Sin embargo, un exceso de este elemento también puede ser nocivo debido a que el oxígeno en los capilares es remplazado por agua en suelos anegados, el suelo pierde su estructura, no existe espacio para la presencia de oxígeno, no hay oxígeno disponible para los microorganismos y plantas.

Como se ha mencionado la materia orgánica proporciona alimento a los microorganismos y también se llevan a cabo reacciones químicas como intercambio iónico, las reacciones que se llevan a cabo favorecen el intemperismo de la materia mineral lo que va contribuyendo con la formación del suelo, los hongos también contribuyen con la producción de sustancias que ayudan con la liberación de nutrientes retenidos por minerales. Los polisacáridos, aminoazúcares, nucleótidos, entre otros forman parte de los componentes biológicamente activos en la porción orgánica.

Los residuos de biomasa son el material de partida de la materia orgánica del suelo como las hojas, ramas, frutos entre otros, Compuestos como el ácido oxálico y otros ácidos carboxílicos de cadena corta son metabolitos que segregan algunos

organismos vivos los cuales intervienen en procesos químicos de meteorización contribuyendo con la lixiviación de iones metálicos. Dentro de estos compuestos orgánicos se encuentran los ácidos húmicos y fúlvicos los cuales conforman la materia húmica del suelo, en su contenido predomina el material celulósico (celulosa y hemicelulosa) y en menor cantidad de lignina entre otros compuestos poliméricos (proteínas, azúcares, pigmentos, etc.). Los residuos celulósicos muestran una degradación más rápida, debido a que la celulosa es un polímero lineal, esta es despolimerizada por un proceso catalizado por enzimas extracelulares a través de la ruptura del enlace glucosídico, obteniendo como resultado glucosa ($C_6H_{12}O_6$) y en su mineralización se obtiene CO_2 y H_2O , en caso de que el proceso sea anaerobio la degradación dará como resultado metano, gas que contribuye con el efecto invernadero. El conjunto de estas reacciones suele ser exotérmicas lo cual es aprovechado por los microorganismos y conduce al aumento de temperatura del medio. La lignina es un componente un poco más complejo motivo por el cual requiere mayor tiempo su proceso de degradación. La velocidad de degradación depende principalmente de la cantidad de microorganismos presentes, el agua, el pH, la temperatura y la aireación del medio. Se reporta que el tiempo estimado para degradar el 90% de la celulosa es de 10 a 25 días, de la glucosa de 10 a 25 días y de la lignina de algunos años. La serie de degradación de la lignina dan como resultado la obtención de material húmico o humus. Durante el proceso de humificación existe un aumento en la proporción carbono/nitrógeno, al principio del proceso con los residuos frescos se puede tener una relación de 1/100 N/C, en el momento en el que los microorganismos van transformando la materia, el carbono orgánico se convierte a CO_2 del cual obtienen energía los microorganismos al mismo tiempo van incorporando el nitrógeno a los compuestos producidos lo que resulta en una proporción N/C de 1/10 al término de la humificación. La importancia de las sustancias húmicas resalta ya que son las encargadas de retener los metales y iones metálicos de los micronutrientes en el suelo, estas sustancias sirven como agentes amortiguadores del pH en el suelo, contribuyen con la estabilización de agregados, pueden servir como filtro por su afinidad a cationes polivalentes pesados, tienen afinidad por compuestos orgánicos como el DDT.

Existen compuestos orgánicos presentes en el suelo con gran relevancia como los que se mencionan a continuación que contribuyen en gran medida con el proceso de degradación y composición del suelo.

Humus

Es el componente orgánico del suelo más importante, compuesto por una fracción acuosa de ácidos húmicos y fúlvicos

La conformación elemental del humus muestra que de 45-55% en peso es carbono, de 30-45% de oxígeno, un 3-6% de hidrógeno, de 1-5% de nitrógeno y en mínimas cantidades azufre.

Evaluación cualitativa

Ensayo de infiltración

Este se refiere a la velocidad en la que el agua puede penetrar el suelo, proporciona también información sobre la porosidad del suelo, un suelo demasiado compacto tomara más tiempo para poder infiltrar agua, esto puede ocasionar anegamientos y ocasionar la erosión del suelo.

Densidad aparente

Esta corresponde al peso del suelo en un volumen conocido, es empleada para la evaluación del espacio poroso que puede presentar el suelo, la relevancia de esta corresponde con la capacidad que tendrá el suelo para el movimiento de nutrientes, aire, agua y el soporte que podría brindar al desarrollo de plantas.

pH del suelo

Este suele ser un indicador sobre la actividad de los iones hidrogeno en el suelo. Un pH ácido podría indicar un uso excesivo de fertilizantes, la deforestación, monocultivos, lo que conduce a la desertificación del suelo, se encuentra asociado con toxicidades como el aluminio y deficiencias con molibdeno, pH básicos corresponden a una alta concentración de cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} . El pH del suelo resulta de gran relevancia ya que este afecta directamente a la disponibilidad de nutrientes.

Estabilidad de agregados

Esta se encuentra relacionada con la preservación de la materia orgánica del suelo, los agregados funcionan como barreras de protección de la materia orgánica, esta prueba corresponde a la cantidad de agregados que permanecen estables en agua que fluye.

Ensayo de lombrices

Este corresponde a la identificación y cuantificación de lombrices encontrados en una porción de suelo, este animal indica un suelo con porosidad considerable, su movimiento a través del suelo contribuye a una mejor infiltración, sus residuos contribuyen a la degradación de materiales y también son capaces de disminuir el tamaño de los agregados para que estos sean aprovechados por otros organismos.

Determinación de cloruros

Esta se realiza para determinar la presencia de suelos altamente salinos, se suele observar una capa blanca de sal en muestras secas con altos niveles de salinidad. Los cloruros pueden provenir de la roca madre para la formación del suelo, de la lluvia y de la materia orgánica aportada a este.

Carbonatos

Suelen indicar un suelo con alto nivel de alcalinidad, lo que no contribuye con el crecimiento vegetal para cultivos.

Materiales alofánicos y/o complejos órgano-aluminico

Es aquel suelo que contiene cantidades considerables de partículas de alofán (hidrosilicato de aluminio amorfo) e imogolitas (minerales de la arcilla), estas tienen su origen en partículas de vidrios volcánicos, estos son generados por una gran influencia de la composición mineralógica inicial, la morfología de estos permite retener gran cantidad de agua, suelen transformarse en arcillas cristalizadas.

Sulfatos

Es un dato sobresaliente en suelos salinos, es una variable que se relaciona con la disponibilidad de nutrientes en el suelo, forma parte de los compuestos orgánicos del suelo

Arcilla naturalmente dispersa

La arcilla es la encargada de proporcionar fertilidad y capacidad de retención de agua al suelo, sin embargo cuando la arcilla se encuentra dispersa no permite que el suelo sea capaz de retener otros elementos lo cual ocasiona la disminución de la calidad del suelo.

Materia orgánica

Es la porción de suelo capaz de contener, aire, humedad, nutrientes, microorganismos, tiene gran relevancia en relación con la fertilidad del suelo, es una importante fuente de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio, a esta se le atribuyen las principales propiedades biológicas y fisicoquímicas del suelo que pueden ser aprovechadas por las plantas y los microorganismos.

Manganeso

Es un elemento que se prefiere este presente en bajos niveles ya que esto indica que el suelo presenta una buena aireación, está relacionado con el pH del suelo y el potencial de redox, al momento en el que desciende el pH y el potencial redox, la concentración de manganeso aumenta, lo cual puede ocasionar compactación del suelo, inundación y estancamiento de agua de la superficie. Suele ser característico de un suelo ácido y su alta concentración ocasiona deficiencia de otros elementos como hierro, magnesio y/o calcio.

Metodología

Descripción del sitio

Para el desarrollo de este proyecto se comenzó con la investigación sobre la generación de residuos en México para ser más específicos en el municipio de Calpulalpan, en el estado de Tlaxcala, el cual cuenta con un total de 4 rellenos sanitarios para 60 municipios y 1,342,997 habitantes de acuerdo con información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 835 de sus localidades son urbanas y el 17% restante son localidades rurales. El municipio de Calpulalpan cuenta con un total de 51,172 habitantes de acuerdo con el informe del 2020, el ingreso al relleno sanitario de esta localidad corresponde a 87 toneladas por día, sin considerar los demás municipios que también emplean este relleno. Como parte de estas cifras, el volumen y tiempo de funcionamiento del relleno, es importante considerar un método para el aprovechamiento de residuos.



Ilustración 1 Mapa correspondiente al estado de Tlaxcala, municipio de Calpulalpan resaltado en verde

Se realizó una pequeña entrevista con el Cirujano dentista José Lucio Pérez Camacho director de servicios municipales de Calpulalpan, quien indicó que el municipio cuenta con 7 unidades formales pertenecientes al municipio para la recolección de residuos de la cabecera municipal, 3 colonias y 11 comunidades pertenecientes al municipio; También menciona que se presenta el servicio de recolección de particulares informales que incluyen 2 camiones carretas tiradas por caballos. Menciona que los servicios correspondientes al municipio trabajan 6 días a la semana y



Ilustración 3 Camión recolector de residuos sólidos urbanos de 3 toneladas

de acuerdo con su información la recolección de residuos es aproximadamente de 341,360 toneladas anuales, con un promedio de 56 toneladas diarias correspondientes a la cabecera municipal y 14 toneladas de las demás poblaciones, menciona que en el mes de septiembre del año pasado se registró un aumento en la cantidad de residuos generados en el municipio; Hizo mención sobre depósitos que



Ilustración 2 Camión recolector de residuos sólidos urbanos con compactador

se encuentran en el municipio los cuales se dedican a la compra venta de materiales como PET, aluminio, vidrio, cartón, cable, entre otros. Se ha observado que el personal encargado de la recolección de residuos suele realizar una separación de residuos rápida al momento de su recolección que posteriormente son vendidos por el mismo personal en los centros de acopio del municipio. Las personas que hacen una separación más detallada de residuos suelen ser los servicios informales particulares y posteriormente realizan la venta de estos, dentro de estos servicios se puede observar riesgos a la salud e incluso maltrato animal por las condiciones en la que deben de laborar este tipo de personas.



*Ilustración 4
(Izquierda) Carreta de recolección de residuos sólidos urbanos informales*



*Ilustración 5
(Derecha) Carreta de recolección de residuos sólidos urbanos*

Como parte de las opciones para el aprovechamiento de residuos únicamente se cuenta con centros de compraventa de residuos para su reciclaje como: cartón, PET, papel, fierro, aluminio, HDPE, cobre, entre otros, pero no se cuenta con un programa o medio de difusión para compartir información correspondiente para el aprovechamiento de residuos orgánicos que las casas habitación del municipio.

Durante la investigación se decidió realizar una visita a uno de los sitios más importantes en cuestión el relleno sanitario "Nanacamilpa", esto con el objetivo de conocer por medio de la observación y realizando una pequeña entrevista al encargado del sitio sobre el manejo de los residuos sólidos urbanos en su sitio de disposición final,



Ilustración 6 Relleno sanitario Nanacamilpa

correspondiente al municipio de Calpulalpan y algunos otros municipios aledaños a este, sin embargo mucho antes de arribar al sitio era posible observar las condiciones en las que este se encuentra el sitio y comprender el desacuerdo de los ejidatarios y pobladores por la ubicación y manejo del relleno sanitario, sobre la



Ilustración 7 Relleno sanitario observado sobre la carretera

carretera que conduce al relleno es posible observar el montón de residuos a lo lejos y conforme se aproxima más al sitio se puede observar basura sobre el camino y terrenos aledaños de diferente tipo en su mayoría bolsas plásticas, al arribo a una parte del sitio se logró observar una pila de llantas de tamaño considerable apartadas del resto de los residuos, también se observaron chimeneas para la emisión de

gases. Recorriendo el camino que conduce al sitio fue posible encontrar y conversar con la persona responsable en ese momento quien comento que al día se pueden recibir de 20 a 25 camiones de lunes a viernes, los días sábados suelen entrar un promedio de 5 camiones, sin embargo desconoce la cantidad en toneladas que entrar al sitio, mencionó que la única separación que se realiza corresponde al material que se puede vender, a pesar de eso comento que el montón de llantas encontradas en el lugar tiene demasiado tiempo pero no ha sido posible encontrar un comprador; a los demás residuos no se les da algún tipo de tratamiento únicamente se hace el vertido de residuos, aproximadamente cada 5 metros se coloca una porción de tierra y en una zona donde ya llego a su punto máximo se coloca desperdicio de construcción; Posterior al vertido de residuos personas ajenas al sitio acuden a pepenar entre los residuos y estas personas son



Ilustración 8 Manejo del relleno sanitario

contratadas en ciertas épocas del año para sanear las zonas aledañas, esto es recoger los residuos que se encuentran en los terrenos cercanos a la zona; Para conocer más sobre el manejo del sitio se cuestionó al encargado sobre algún tipo de control de emisiones, haciendo únicamente mención que se cuenta con 8

chimeneas para la emisión de gases y 2 presas de lixiviados sin saber más al respecto sobre estos. La fauna que se percibe a simple vista es una enorme cantidad de perros, indicó que no existe algún control de fauna. También señalo que los municipios que emplean el sitio son Calpulalpan, Nanacamilpa, Benito Juárez, Españita, Santorum y Hueyotlipan, estos con sus respectivas poblaciones aledañas y ciertas industrias que se encuentran en los municipios. Un comentario bastante



Ilustración 9 Chimeneas localizadas para emisión de gases

relevante fue que el sitio ya está próximo a llegar a su punto máximo, pero no les han dado algún tipo de información respecto al futuro del sitio, mencionando que de acuerdo con su conocimiento el sitio lleva en uso 36 años aproximadamente. El encargado indico que era reservado el sitio en cuanto a las fotos ya que estas no están permitidas en el sitio ya que para tal caso es necesario contar con un permiso del responsable en el Estado y cierta información tampoco fue proporcionada posiblemente por falta de capacitación sobre el lugar y sus actividades.

Primera etapa

Sitio para compostaje

El desarrollo del proyecto de elaboración de la composta comenzó con la selección del área a emplear, ya que el punto principal es poder aprovechar el área disponible de una casa habitación se conversó con la familia sobre el proyecto y la duración aproximada para que fuera posible destinar el



Ilustración 10 Selección del sitio para la elaboración de la composta

área sin interrumpir sus actividades, una vez establecida el área el primer paso fue la limpieza y deshierbe de la zona considerando la técnica de compostaje de un sistema abierto por las condiciones del terreno.



*Ilustración 11
Verificación de la
profundidad de la
excavación*

Para poder ocupar el espacio destinado de la mejor manera, aprovechar el calor del suelo y observar más sobre las características del terreno se optó por hacer un hoyo, procurando que este se ubicara en un lugar donde los rayos solares tuvieran mayor incidencia y presencia durante el día esto para poder lograr temperaturas ideales para los microorganismos, se decidió realizar una excavación con una dimensión de 1 metro de ancho 1 metro de largo y 1 metro de profundidad, obteniendo un volumen final de 1 m³, esto con el fin de analizar el espacio requerido en la generación de residuos orgánicos en la casa habitación.



Ilustración 12 Verificación del ancho de la excavación y observación del perfil del suelo



Ilustración 13 Organismos hallados en la excavación

Cuando se llevó a cabo el proceso de excavación y extracción del suelo, mientras más profundo se realizaba la excavación fue cada vez más complicado llevarlo a cabo por la gran compactación que presentaba el suelo, sin embargo, durante la actividad se hallaron

algunos insectos a diferentes profundidades, predominando en la parte superior los cuales se muestran en la ilustración 13.

Después se consideró el material para el desarrollo del proyecto, tomando en cuenta el punto principal, poder desarrollar un proyecto de este tipo en una casa habitación por lo cual se buscó aprovechar los materiales disponibles; Como parte de la aireación del sistema se consideró el empleo de un tubo de PVC reciclado con orificios el cual se colocó en medio del sistema. Se selecciono un recipiente para la recolección de los residuos considerando una cubeta para ser vertidos en el hoyo. Se cuenta con una báscula móvil para el pesaje de los residuos únicamente para tener un aproximado sobre la generación de residuos. Se selecciono un recipiente de 3 litros para el agua suministrada al proceso, esta se vierte cada que el sistema lo requiere, de preferencia se trata de aprovechar el agua pluvial pero cuando el tiempo no es adecuado el sistema se riega manualmente, en caso de que la lluvia sea demasiada para evitar la anegación se cuenta con láminas de fierro para su protección lo que a su vez contribuye con el resguardo de la fauna que pueda intervenir y la conservación del calor.



Ilustración 14 Tubo de PVC para el intercambio de gases del sistema



Ilustración 15 Recolección de residuos

Una vez que se tenía todo el equipo a emplear, el sitio listo, se comenzó con la recolección de residuos orgánicos de la casa, cada tercer día se realizaba el vertido de residuos, se comenzó con el pesaje de los residuos y su registro únicamente como conocer un valor aproximado de peso de residuos, el cual solía variar directamente del tipo de alimentación que tuviera la familia, se buscaba que el tamaño de los residuos tuviera dimensiones cercanas a los 5 cm como máximo, en caso de que estas fueran mayores se considera el corte de los mismo para su agregación ya que esto favorece degradación y aprovechamiento por los microorganismos.



Ilustración 16 Lamina de protección



Ilustración 17 Vertido de residuos

Posterior al vertido de los residuos orgánicos se añade una porción considerable de suelo para cubrir estos, como parte del aporte de complementos a la composta en algunas ocasiones se consideró la adición de aserrín con una delgada capa de este antes de agregar el suelo correspondiente, residuos de madera proporcionados por la familia, estos últimos se agregan esporádicamente cuando se observa gran humedad de los residuos orgánicos.



Ilustración 18 Cobertura de residuos



Ilustración 19 Adición de aserrín al proceso

Cada tercer día antes de agregar la siguiente porción de residuos orgánicos en algunas ocasiones se realizaba el pesaje de los residuos para observar la variación que estos podían tener, durante el proceso se realizó en ciertas ocasiones la medición de temperatura y por medio de la introducción de un palo de madera a la composta era verificada la humedad del sitio, en caso de que fuera necesario se añadía agua, con ayuda de una varilla se realizaron hoyos para que el proceso tuviera aireación y mejor filtración de agua. Como parte de la conservación de calor del sistema se optó por colocar un hule que cubriera el hoyo, al mismo tiempo esto beneficiaba con la conservación de la humedad, protección de fauna externa, para contribuir con esto también fue posible colocar láminas de fierro lo cual contribuyo con la protección de acumulación considerable de agua por las lluvias que pudieran anegar el área. Se decidió colocar una pared de blocks y solo llenar la mitad del hoyo con el propósito de facilitar su movimiento posterior.



Ilustración 20 Elaboración de hoyos para mejorar la infiltración de agua y aire



Ilustración 21 Medición de temperatura y revisión de humedad

Después de que la composta fue cerrada, se dejó de verter residuos para su transformación, únicamente se verificaba la humedad cualitativamente y en caso de ser necesario se suministraba agua, 3 meses después se realizó una apertura de esta para evaluar el estado de degradación de los residuos y se llevó a cabo la aireación manual por medio de paleo.



Ilustración 23 Apertura para evaluación de estado de degradación de residuos



Ilustración 22 Aireación y mezcla por técnica de paleo

Durante el movimiento de los residuos se pudo observar una considerable desintegración de los residuos, sin embargo aún se podían observar algunos pedazos considerables de residuos, los que definitivamente aún se encontraban íntegros eran los huesos de algunas frutas, cáscaras de huevo y también se observó el crecimiento de algunas raíces.



Ilustración 24 huesos y semillas encontrados durante la aireación manual



Ilustración 25 Residuos en proceso de degradación (cascaron de huevo, cascara de aguacate y algunas raíces)

Para continuar con el proceso de degradación de los residuos una vez terminado la aireación por paleo se dejó intacta la composta por un mes más con los mismos cuidados y al termino de este se realizó su apertura. Comprobando la degradación de los residuos, se podían aún identificar residuos como huesos de aguacate, cascara de caña y algunos trozos pequeños de cascaron de huevo, considerados como aquellos residuos que toman más tiempo en su degradación por su

composición compleja, pero la textura de la composta en general ya era uniforme, su consistencia se podía sentir y observar húmeda, porosa, integrada.



Ilustración 27 Protección del sitio



Ilustración 26 Textura de la composta al término del periodo

Segunda etapa

Mejorador de suelos

Como parte del seguimiento del proyecto la segunda etapa consistió en la selección y delimitación de un área para colocar sobre esta la composta obtenida y dejar que esta interactuara con el suelo del sitio, motivo por el cual se decidió recolectar una muestra de suelo como blanco antes de agregar la composta y también se recolectó una muestra de la composta, para posteriormente poder comparar algunas propiedades de estas y poder identificar cualitativamente la mejora del suelo, las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente para su posterior uso; de lado izquierdo se puede observar la muestra de suelo como blanco y del lado derecho la muestra correspondiente a la composta, imágenes en las que se puede observar la diferente textura que presentan



Ilustración 28 Muestra de suelo y composta (derecha e izquierda respectivamente)

Delimitación de la zona

Para comenzar con la segunda etapa se realizó la selección y delimitación de la zona a interactuar con la composta, delimitando el área de 2 metros de ancho por 2

metros de largo, con la ayuda de blocks para poder tener un control sobre el tamaño del sitio , como barrera de protección de la composta y esta no fueran erosionada o lavada en caso de viento o lluvias y teniendo un mejor control de la zona tratada.



Ilustración 30 Medición del área para aplicar la composta



Ilustración 29 Delimitación del área

Se procedio con un dehierbe superficial y la colocación de la composta en toda el área tratando de hacer un vertido uniforme, con una capa aproximada de 5 cm de composta.



Ilustración 31 Sitio delimitado con la composta esparcida uniformemente

Después de algunas semanas comenzó a salir hierba en la zona.



Ilustración 32 Sitio seleccionado con brote de hierba

La hierba fue aumentando de tamaño y llenando el área hasta el punto que no era posible percibir alguna área de suelo a simple vista, únicamente obtuvo agua del ambiente, las zonas aledañas también tuvieron crecimiento de pasto sin embargo su tamaño fue menor y en la zona delimitada se lograba percibir otro tipo de especie de vegetación.



Ilustración 33 Sitio seleccionado con crecimiento de hierba totalmente cubierto por esta

Durante el proceso de crecimiento se observó la presencia de insectos como abejas, catarinas y en grandes cantidades chapulines, estos últimos al final fueron considerados como una plaga ya que se estuvieron comiendo las hojas de la vegetación presente en el sitio.



Ilustración 34 Detección de plaga en las plantas

Las plantas crecieron aproximadamente 1 metro después de 3 meses de aplicación de la composta, durante este tiempo se pudo observar el crecimiento de plantas correspondientes a tomates, jitomates y otras conocidas como dientes de león, desafortunadamente la población de los chapulines creció demasiado y terminaron con estas, igualmente aparecieron otros insectos, todo esto contribuyó a la pérdida de los frutos.



Ilustración 35 Crecimiento de las plantas aproximadamente 1 metro



Ilustración 36 En el sitio se logró identificar plantas con frutos correspondientes al tomate (izquierda) y jitomate (derecha)



Ilustración 37 Crecimiento de más plantas y detección de nuevas plantas

Análisis cualitativo de las muestras

Después 3 meses de la aplicación de la composta al suelo se considero como un tiempo considerable para que estos hayan llevado a acabo un proceso adecuado de interacción contribuyendo con la mejora de la calidad de suelo del área seleccionada, motivo por el cual se procedio con la aplicación de un conjunto de pruebas cualitativas para poder observar la diferencia entre un suelo tratado con la composta obtenida y otro con suelo sin tratamiento. Las pruebas realizadas se mencionan a continuación:

Ensayo de infiltración en campo

Para el desarrollo de este ensayo se emplea un cilindro de metal con volumen conocido y marcado por la mitad de su volumen de manera transversal, un recipiente graduado con 100 mL de agua y un cronometro, a continuación, se retira la vegetación del área seleccionada de ambas áreas (con composta y sin composta) cuidando de mantener la mayor parte de superficie del suelo, se procede enterrando el cilindro hasta lograr introducir la mitad de este donde se realizó la marca. Una vez colocado en esta posición se vierten los 100 mL de agua y se toma por medio del cronometro el tiempo que le toma a esta infiltrarse por completo en el suelo.



Ilustración 39 Lata enterrada a la mitad de su volumen



Ilustración 38 Vertido de agua sobre el suelo capturado por la lata



Ilustración 40 Infiltración del agua a través del suelo capturado por la lata

Ensayo de densidad aparente

Para su elaboración se emplea un cilindro metálico, este debe ser enterrado completamente en el área seleccionada de ambas parcelas, una vez que su extremo superior se encuentra a la altura de suelo se comienza a liberar el alrededor del cilindro cuidando no comprometer el contenido del cilindro, una vez liberado este se continúa con el pesado de la muestra. Por último se realiza el cálculo para obtener la densidad con el peso de la muestra y el volumen del cilindro.



Ilustración 41 extracción de la muestra para la obtención de densidad aparente

Ensayo de densidad

Para este procedimiento se emplea la misma muestra del ensayo anterior, pero esta se deja secar por 5 días para obtener un peso real y se aplica la misma fórmula para obtener las densidades de las muestras

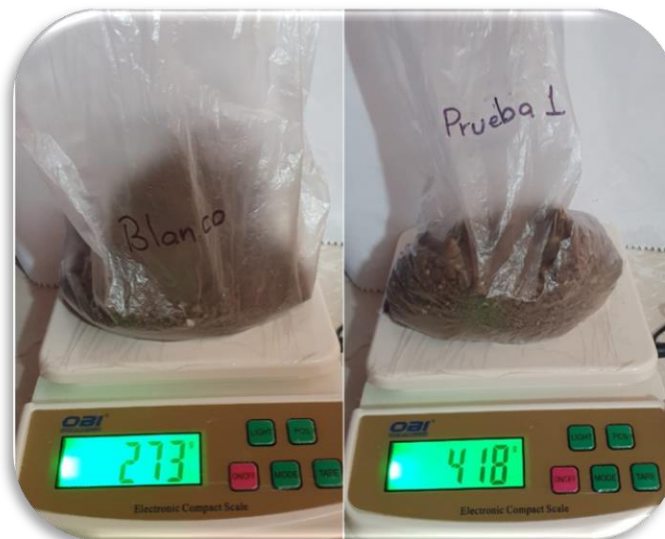


Ilustración 42 Registro de los pesos de las muestras para la obtención de la densidad

Ensayo de pH

Por medio de una tira reactiva se lleva a cabo la medición cualitativa de pH colocando una porción de suelo sobre una cuchara, añadiendo agua, ya que el suelo se encuentre hidratado se coloca la tira reactiva para que esta se empape y se procede con su lectura comparando con la caja de las tiras reactivas.



Ilustración 43 Medición de pH por medio de tiras reactivas de pH

Ensayo de estabilidad de agregados

Para realizar este ensayo se pesan 100 gramos de suelo tamizado de cada una de las parcelas, se prepara un recipiente con agua capaz de cubrir el suelo que debe ser colocado en un colador y se sumerge por 3 minutos con movimientos continuos dentro y fuera del agua, se dejan secar las muestras que al final de la prueba quedaron en el colador y se procede con la obtención de su peso.



Ilustración 44 Preparación de la muestra



Ilustración 45 Muestra sumergida en agua



Ilustración 46 Sedimentos resultantes después de sumergir la muestra

Ensayo de lombrices

Para este ensayo se debe extraer una muestra de suelo de 1kg, de los primeros 20 cm de profundidad de la parcela, después se vierte en una zona para poder verter esta y se busca la presencia de lombrices.



Ilustración 47 Ensayo de lombrices

Presencia de cloruros

Se realiza la prueba en un extracto de suelo agregando de 5 a 10 gotas de AgNO_3 al 5%, se espera la formación de un precipitado blanco que posteriormente se torna purpura lo cual indica la presencia de cloruros en el extracto.



Ilustración 48 Ensayo correspondiente a cloruros

Presencia de carbonatos

Esta prueba se realiza con una pequeña porción de suelo, se añade la solución de HCl al 11%, en caso de que se presente una reacción efervescente indicara la presencia de carbonatos.



Ilustración 49 Ensayo correspondiente a la presencia de carbonatos

Alcalinidad con valores mayores a 8.3 pH

Sobre papel filtro se coloca una porción de suelo, se agregan gotas de fenolftaleína al 1% humedeciendo el suelo y se observa, en caso de que hay un vire a rosa mexicano la muestra puede indicar un suelo alcalino



Ilustración 50 Ensayo para detección de valores de pH mayores a 8.3

Materiales alofanicos y/o complejos organo-aluminico

Se coloca una muestra de suelo sobre papel filtro, se añade fenolftaleína al 1% humedeciendo el suelo, posteriormente se añade NaF al 1N si existe un vire a rosa mexicano se puede confirmar la presencia de estos elementos

Sulfatos

En un tubo de ensaye se coloca suelo y agua (1:2), se agita la muestra y se filtra. Al extracto obtenido se agregan gotas de BaCl_2 al 10% en caso de apreciar la formación de un precipitado blanco, se añaden gotas de HCl (5-10 gotas) en caso de que la turbidez no se aclare esto indica la presencia del ion sulfato.



Ilustración 51 Prueba correspondiente a los sulfatos

Arcilla naturalmente dispersa

En dos tubos de ensaye se coloca una pequeña muestra de suelo en uno se añade agua y en el otro hexametáfosfato sódico al 0.2 N (relación volumen 1:2), se agita y

se deja sedimentar por 5 minutos, se observa al concluir el tiempo de reposo en caso de que permanezca la turbidez en el tubo indica la presencia de arcilla naturalmente dispersa



Ilustración 52 Presencia de Arcilla naturalmente dispersa en muestra

Materia orgánica

En un tubo de ensaye se coloca una muestra de suelo, se añaden gotas de H_2O_2 a 20 vol., en caso de que haya efervescencia esto indicara la presencia de materia orgánica



Ilustración 53 Presencia de efervescencia lo que indica la presencia de materia orgánica

Manganeso

Para este ensayo se coloca una muestra de suelo en un tubo de ensaye, añade H_2O_2 a 20 vol. si esta acción produce efervescencia vigorosa por tiempo prolongado y desprende vapor blanco nos indica la presencia de manganeso en la muestra



Ilustración 54 Ensayo de manganeso

Durante el desarrollo del proyecto como parte de la evaluación sobre la composta resultante se decidió aplicar los ensayos antes mencionados a las muestras de suelo para poder comparar sus propiedades cualitativamente, tomando como blanco el suelo del sitio sin ningún tipo de tratamiento y el suelo tratado con la composta, así como una muestra de la composta; de cada sustrato se tomó una muestra representativa de 1 kg considerando una profundidad de 10 cm, las cuales se dejaron secar a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron en una malla de 2 mm, posterior a esto se llevaron a cabo los ensayos antes mencionados a las 3 muestras y se realizó la comparación de cada uno de los resultados obtenidos presentados en el próximo apartado.

Resultados y discusión

El municipio de Calpulalpan cuenta con un relleno sanitario destinado a la acumulación de residuos de municipios aledaños a este último. En el relleno únicamente se recolecta el 85% de los residuos generados por el municipio y las demás comunidades que dependen de este. El sitio cuenta con 7.2 Ha, tiene un ingreso diario de 87 toneladas, el contrato para la use de este sitio fue por 10 años sin embargo lleva 22 años de uso, situación que preocupa y genera incertidumbre sobre el adecuado manejo que pueda estar teniendo esto rebasando los límites con los que fue puesto a disposición.




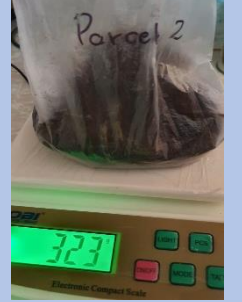
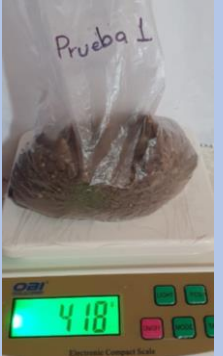

Como parte de la investigación bibliográfica de sistemas abiertos, cerrados y semi cerrados de acuerdo con las características del área se empleó el sistema de compostaje abierto, en el cual se vertía residuos cada tercer día con un promedio de 2 kg, con registro de temperaturas desde los 17 hasta los 25 ° C, con suministro de agua regular de 3 litros dependiendo de las condiciones del tiempo. Logrando el llenado de la mitad del espacio disponible en un mes y medio.


Como parte del proceso se añadía la porción correspondiente a residuos orgánicos seguido de una porción de suelo que cubriera la primera porción, colocando una vez por semana una cantidad de un litro en volumen de aserrín contribuyendo con materia orgánica rica en lignina para su aprovechamiento por microorganismos descomponedores de compuestos más complejos, aportando aireación, durante todo este tiempo se mantuvo en vigilancia la temperatura, humedad y condiciones de tiempo para lograr obtener los resultados esperados sobre la degradación de los materiales para su posterior aplicación.




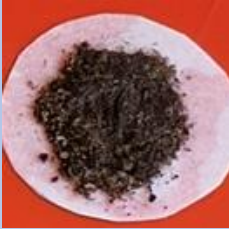






Hasta el término de este periodo se sigue esperando el término del proceso por la degradación de los residuos.










Ensayos comparativos aplicados al suelo

Como parte del análisis respecto al mejoramiento de la calidad de suelo en la zona delimitada empleada para el vertido de composta resultante del tratamiento de residuos, se aplicaron una serie de evaluaciones cualitativas para poder observar y compara algunas propiedades entre el suelo tratado y el suelo del terreno sin tratamiento. A continuación, se presenta una corta descripción de las pruebas y los resultados obtenidos de cada una de ella

Ensayo	Composta	Suelo con composta	Suelo sin composta	Resultados
Infiltración en campo	N/A			1- N/A 2- $1.18 \frac{mL}{cm^2 min}$ (26.60 segundos) 3- $0.74 \frac{mL}{cm^2 min}$ (42.02 segundos)
	El suelo con composta tuvo un mejor tiempo de infiltración, lo que nos demuestra una mejor porosidad en comparación a el suelo sin composta			
Densidad aparente				1- N/A 2- $1159 \frac{kg}{m^3}$ 3- $828 \frac{kg}{m^3}$
	La densidad aparente es mayor en la muestra de suelo con tratamiento en comparación con la muestra sin tratamiento lo que nos puede indicar una mejor estructura			
Densidad				1- N/A 2- $1071 \frac{kg}{m^3}$ 3- $700 \frac{kg}{m^3}$
	Se observa que la muestra correspondiente al suelo tratado posee mayor densidad que el suelo sin tratar, por lo tanto, se confirma que el suelo con composta posee mejor estructura mejorando la calidad del suelo			

Ensayo	Composta	Suelo con composta	Suelo sin composta	Resultados
pH				1- 6 2- 6 3- 6
	<p>En las 3 muestras es posible observar el mismo valor de pH, correspondiente a 6 lo cual nos indica cierto nivel de neutralidad en las muestras lo cual favorece la disponibilidad de nutrientes</p>			
Estabilidad de agregados				1- 53% 2- 5% 3- 19%
	<p>La muestra correspondiente a la composta presento una mejor estabilidad, incluso la formación de terrones, lo que favorecerá con la preservación de materia orgánica, el valor bajo en el suelo con composta puede indicar que falta mayor interacción del suelo con la composta</p>			
Lombrices			Sin presencia	1- 3 2- 2 3- 0
	<p>La presencia de lombrices predomino en la muestra correspondiente a la composta, la muestra de suelo sin composta no presento especies, esto se relaciona con la porosidad del suelo y su capacidad de retener, aire, agua, nutrientes y permitir la vida de especies animales y vegetales</p>			

Ensayo	Composta	Suelo con composta	Suelo sin composta	Resultados
Cloruros				1- Positiva 2- Negativa 3- Negativa
	En la única muestra que se puede observar una reacción positiva a la presencia de cloruros es la correspondiente a la composta, se aprecia un todo leve morado			
Carbonatos				1- Positiva 2- Negativa 3- Negativa
	La muestra que presento poca efervescencia corresponde a la de composta lo que conduce a la presencia de carbonatos. Las otras dos fueron negativas.			
Alcalinidad, valores mayores a 8.3 de pH				1- Negativa 2- Negativa 3- Negativa
	Las tres muestras fueron negativas a valores de pH mayores a 8, lo que se puede corroborar con las tiras de pH			
Materiales alofánicos y/o compuestos órgano-aluminicos				1- Positiva 2- Positiva 3- Negativa
	En las muestras correspondientes a la composta y suelo con composta se observó una capa fina blanquecina, sin embargo, en el suelo			

sin composta no se aprecia claramente su presencia				
Ensayo	Composta	Suelo con composta	Suelo sin composta	Resultados
Sulfatos				1- Positiva 2- Negativa 3- Positiva
	<p>Las muestras que presentan turbidez de acuerdo con la presencia de sulfatos es la composta y suelo sin tratamiento, lo cual se puede relacionar con una mejor disponibilidad de nutrientes</p>			
Arcilla naturalmente dispersa				1- Positiva 2- Positiva 3- Positiva
	<p>En las tres muestras se presenta arcilla naturalmente dispersa por la turbidez de estas en presencia del hexametáfosfato sódico, lo que nos indica una deficiencia en capacidad de retención de agua y la ausencia de un suelo fértil</p>			
Materia orgánica				1- Positiva 2- Positiva 3- Positiva
	<p>En las tres muestras se observa la presencia de materia orgánica por la efervescencia de estas, sin embargo, se observa una mayor efervescencia logrando una mayor altura en la muestra de suelo con composta, lo que nos puede indicar una buena calidad de suelo</p>			

Manganeso



Las tres muestras fueron negativas a la presencia de manganeso ya que hay ausencia de coloración en estas, lo podemos relacionar con su pH, esta característica suele ser positiva en suelos ácidos

- 1- Negativa
- 2- Negativa
- 3- Negativa

Conclusiones y recomendaciones

Con la información encontrada en las diferentes fuentes de consulta sobre la cantidad de residuo se llega al punto en que es importante tomar cartas en el asunto sobre la gestión de residuos en el municipio, incluso de las comunidades aledañas, sería de gran relevancia crear estrategias para crear una conciencia en la población sobre el aprovechamiento de sus residuos y de esta manera poder reducir su volumen en los sitios de disposición final, también es importante considerar una revisión más profunda sobre el diseño y características del relleno sanitario y las autoridades del municipio se hagan cargo de un mejor manejo de este, ya que resulta de gran relevancia y preocupación la capacidad y manejo de este, puede ser un foco de infección para la población y una fuente de emisiones contaminantes para el ambiente relevante.

Hasta el momento se espera el término de la primera fase de descomposición de la composta, posteriormente se llevará a cabo una aireación con el método manual por medio de paleo, permitiendo al mismo tiempo observar el punto de descomposición de los residuos y humedad presente en el proceso, al terminar la descomposición del proceso, se espera la obtención de una composta rica en nutrientes, se considera su aprovechamiento en el sitio de elaboración.

Se tiene establecido que por lo general los países con un mejor nivel de desarrollo o nivel de ingreso alto producen la mayor cantidad de residuos, considerando un tercio de los desechos del mundo, sin embargo, en estos también se observa un mejor manejo de estos desde su recolección, reciclado, compostificación y disposición final, en comparación con los países de bajo ingreso. Se considera un aumento considerable en la generación de desechos en los próximos años debido al crecimiento de la población, aumentando la urbanización con un registro de 2010 millones en 2016 a que en los próximos 30 años se registre cerca de 3400 millones.

Los residuos plásticos son uno de los que se encuentran en mayor cantidad y generación, si estos no se manejan adecuadamente pueden ocasionar grandes problemas de contaminación del agua y ecosistemas, lo más preocupante es que estos permanecen en el planeta por mucho mayor tiempo. Estos residuos no solo preocupan por su disposición final, también la cantidad y tipos de materias primas que requieren para su elaboración.

Un punto de suma importancia sobre el tratamiento de residuos está relacionado directamente con el daño que suele haber a la salud de la población y su entorno, por el mal manejo de los residuos, desde enfermedades propagadas por plagas o vectores, emisión de gases de efecto invernadero, generación y filtración de lixiviados. Se puede observar una mayor deficiencia en el manejo de residuos en

las poblaciones de escasos recursos por diferentes motivos, desde la falta de recursos hasta la desinformación o desinterés sobre el mejor tratamiento de estos, en muchas ocasiones optan mejor por su vertido en barrancos, cuerpos de agua, la quema de los residuos, lo cual tiene mayores repercusiones al medio ambiente.

Algo que cabe señalar es prioridad que los gobiernos locales y nacionales tomen conciencia sobre una mejor gestión de residuos, contemplando la recolección de esto su reciclaje, el aprovechamiento, informara a la población la importancia de esto. La mala gestión de los residuos también puede ser observada desde otro punto de vista referente a la salud pública el mal manejo de residuos puede ocasionar una gran cantidad y variedad de enfermedades la población lo que implica más gastos que pudieron ser evitados.

Puntos clave a considerar como parte de la política relacionada a el tema de residuos y gobierno es tomar conciencia de los problemas que genera la mala gestión de residuos, enfocar el destino de recursos públicos para mejorar el sistema de disposición, contribuir con la concientización sobre el consumo de plásticos y el mal manejo de los residuos considerando las repercusiones que esto ocasiona, reducir la cantidad y tipo de residuos colocados para su disposición final, considerando el reciclaje de materiales que puede incluso tener beneficio monetario para los mismo pobladores, como la producción de composta a través del aprovechamiento de los residuos orgánicos que se pueden emplear para su beneficio incluso para la producción de alimentos de autoconsumo. Ser objetivos en el aprovechamiento de los residuos que pueden traer demasiados beneficios personales, es necesario mostrar a la población lo que se puede hacer y así poder disminuir la cantidad de residuos colocados en sitios de disposición final, los cuales en nuestro país necesita una mejor regulación por el mal manejo de estos.

Respecto al resultado arrojado por los ensayos realizados sobre el mejoramiento de la calidad del suelo en la mayoría de estos el suelo tratado con la composta obtenida de los residuos generados en la casa habitación mejoran favorablemente el suelo,

Como parte del análisis de los resultados obtenidos sobre los diferentes ensayos realizados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Ensayo de infiltración en campo

La muestra correspondiente al suelo que interactuó con la composta presento un menor tiempo de infiltración de agua en comparación con el suelo sin composta, obteniendo el mejor resultado de infiltración, lo cual está directamente relacionado con la porosidad de la muestra, esto se encuentra directamente relacionado con la disponibilidad de oxígeno y agua, favorece el movimiento de nutrientes en el sitio, el crecimiento radicular y la actividad de los microorganismos presentes en el medio y se disminuye la probabilidad de anegamientos y erosión del suelo.

Densidad aparente

El valor obtenido en el ensayo sobre la densidad aparente es mayor en la muestra correspondiente al suelo que interactuó con la composta en comparación con el suelo al que no se le aplicó la composta, lo cual nos indica una mayor porosidad del suelo relacionado con el movimiento de nutrientes, aire, agua, el soporte y crecimiento radicular y la actividad microbiana, resultado que se puede confirmar con el ensayo de densidad

pH

El potencial de hidrogeno se encarga de determinar la capacidad de adsorción de iones H^+ para determinar la acidez o alcalinidad del medio, este se relaciona con la disponibilidad de nutrientes, su solubilidad, movilidad, disponibilidad en el suelo, en las tres muestras correspondientes (composta, suelo con composta y suelo sin composta) se obtuvieron resultados con un valor de 6 lo cual nos indica un pH ideal, siendo un pH de 6.5 el más adecuado para los cultivos agrícolas

Estabilidad de agregados

El ensayo está relacionado con la capacidad del suelo para retener la materia orgánica presente en este, lo que nos indica la estabilidad de la materia orgánica con el flujo de agua en el sistema, la muestra correspondiente a la composta fue la que presentó el mayor porcentaje de estabilidad de agregados, incluso se observó la formación de terrones, seguida por el suelo sin composta y por último el suelo que estuvo en interacción con la composta, el resultado obtenido respecto al suelo que estuvo en interacción con la composta no fue el más ideal, sin embargo este puede ser razonable ya que la composta y el suelo requerían más tiempo de interacción además de que este se encontraba menos compacto que las otras dos muestras

Lombrices

El ensayo consiste en observar la cantidad de lombrices presente en la muestra lo cual se relaciona con la porosidad del suelo, disponibilidad y movilidad de nutrientes lo que permite la existencia de estos animales, la mayor cantidad de estos fue encontrada en la composta con 3, seguido del suelo con composta con 2 y por último el suelo sin composta en el cual no se encontró ninguno, estos resultados tienen sentido, ya que la cantidad de nutrientes en la composta es mayor por su origen así como su porosidad, el suelo con interacción de composta contiene nutrientes de manera considerable pero no en las dimensiones de la composta, al mismo tiempo presenta una buena porosidad de acuerdo al ensayo de infiltración y en el suelo sin

tratamiento se puede inferir que los nutrientes y/o su disponibilidad es menor lo cual disminuye la presencia de estos en el medio.

Determinación de cloruros

La presencia de cloruros se relaciona con la salinidad del suelo lo cual puede inhibir el crecimiento de las plantas, incluso puede ser tóxico para el sistema por la poca disponibilidad de agua, desequilibrio en la disponibilidad de nutrientes, lo cual afecta directamente a la biota del sitio, en el ensayo la única muestra que indico la presencia de cloruros fue la correspondiente a la composta, las muestras correspondientes al suelo con composta y sin composta resultaron negativas a la presencia de estos lo cual resulta benéfico para el sistema.

Determinación de carbonatos

Los carbonatos contribuyen con la estructura del suelo sin embargo estos deben de estar presentes en cantidades moderadas, su exceso contribuye con la formación de complejos insolubles lo que ocasiona que las plantas no puedan o sea difícil de absorber otros elementos como fósforo, boro y hierro por las plantas, sin embargo la única muestra que detecto la presencia de estos fue la correspondiente a la composta lo cual puede estar relacionada con los residuos vertidos a la composta, afortunadamente en el suelo con composta no se detectó su presencia lo cual es favorable para el suelo en la disponibilidad de nutrientes y que las plantas y/o microorganismos los puedan asimilar.

Materiales alofánicos y/o complejos órgano-aluminicos

Este tipo de materiales se relaciona con la presencia de ceniza volcánica y suele contribuir con alta retención de agua, gran área superficial, contribuyen con la fijación de P, contribuye con el intercambio catiónico lo que contribuye con la disponibilidad y cantidad de nutrientes disponibles, en este caso se detectó la presencia de estos materiales en las muestras correspondientes a la composta y suelo con composta lo cual favorece directamente a la composición del suelo.

Sulfatos

La presencia de estos resulta indispensable para que se lleven a cabo diferentes reacciones, la materia orgánica es una fuente importante de estos, forman parte de las proteínas, todo esto interviene con el crecimiento de las plantas, en este ensayo el resultado correspondiente a el suelo que estuvo en interacción con composta no fue el esperado ya que no se observó el precipitado esperado para detectar su presencia, se infiere que tal resultado puede haber ocurrido por el desprendimiento de este por agua, un muestra que no contenía una cantidad considerable para su detección o algún otro factor externo ya que en las otras dos muestras

correspondientes a la composta y suelo sin composta se observó la presencia de estos elementos.

Arcilla naturalmente dispersa

Este elemento es importante ya que es encargado de proporcionar fertilidad y se relaciona con la capacidad de retención de agua, sin embargo, cuando esta se encuentra dispersa el suelo es incapaz de retener elementos disminuyendo así su calidad, desafortunadamente en las tres muestras se observó la arcilla naturalmente dispersa lo cual crea controversia al respecto por los demás resultados, por lo que se puede inferir un error en el ensayo

Materia orgánica

Esta prueba nos proporciona información relevante sobre el contenido de nutrientes y características relevantes del suelo como la capacidad para retener agua, aire y nutrientes lo que contribuye su buena calidad, este ensayo fue percibido en las tres muestras sin embargo la que tuvo mayor reactividad indicando una mayor presencia de materia orgánica fue la de suelo con composta. Pedir

Manganeso

El contenido en niveles bajos de este elemento suele estar relacionado con una buena aireación y contribuye con el potencial redox, si su concentración fuera considerable el suelo estaría compactado y favorecería el anegamiento de agua, en este caso ninguna de las muestras detecto la presencia de este elemento y en base a los ensayos anteriores esto concuerda

Con base en el análisis cualitativo realizado anteriormente se puede deducir que el mejoramiento de suelo si sucedió con la interacción de la composta, también se considera importante continuar con su interacción para que una mejora en la calidad del suelo mayor.

Toda esta información obtenida por los diferentes ensayos cualitativos aplicado a la muestra de suelo con composta nos indica el mejoramiento del suelo, incluso la capacidad de crecimiento de otras especies diferentes al pasto que comúnmente se presenta en la zona, al mismo tiempo permitió la presencia de otros insectos como abejas contribuyendo con el tema de la polinización, incluso se tuvo la posibilidad de obtener frutos como jitomates y tomates que no fueron plantadas las semillas sin embargo el suelo permitió su crecimiento y desarrollo hasta la invasión considerada como plaga de los chapulines.

Es posible mejorar la calidad de suelo del municipio de Calpulalpan, con los recursos, materiales, espacios y actividades del municipio, sin embargo, hace falta la difusión de este tipo de proyectos y motivación de la población para su desarrollo,

una de las partes más importantes es lograr crear conciencia sobre la importancia de la generación, tratamiento y disposición final de los residuos, la capacidad de contribuir tanto a la comunidad como en situaciones personales.

REFERENCIAS

- Agenda estadística (2020).
https://www.finanzastlax.gob.mx/documentosSPF/planeacion/estadisticas-estatales/agenda-estadistica/2020/agenda_2020.pdf
- Chica Pérez, A., 2015. Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica. Madrid: Mundi-Prensa.
- Domènech, X., & Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestres*. Reverté.
- Ecología. (2016). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Tlaxcala. <http://www.cge-tlaxcala.gob.mx/PEPGIR.pdf>
- Enciclopedia de los Municipios y Demarcaciones Territoriales de MÃ©xico*. (2021). Sistema Nacional de Información Municipal. http://www.snim.rami.gob.mx/enciclopedia_v2/PruebaPropuesta.php?id=2065&tipo=m&e=29&m=6
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (Cuarta edición). FAO FIAT PANINS. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- Flores Quijano, R. (2021). *Gestión de los residuos sólidos urbanos EXPERIENCIAS EN AMÉRICA LATINA Y AUSTRIA* (Primera edición). Universidad Popular Autónoma de Puebla, A.C.
- Guillermo León Marín Serna. (2011). *Edafología 1* (Primera edición). Espacio Gráfico Comunicaciones S.A. <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Tlaxcala 2017*. INEGI. https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/TLAX_ANUARIO_PDF.pdf
- Isef, F. S. E. A. (2019). *Agenda Ecológica Federal 2019* (15a ed.). Ediciones Fiscales ISEF.

Laich, F. (2011, octubre). *El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje*. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. <https://www.icia.es/biomusa/pt/jornadas-y-actividades-pt/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo-pt/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file>

Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental* (Primera edición). Editorial Reverté.

Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

NMX-AA-61-1985 Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de la generación,

NMX-AA180-SCFI-2018 Métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales

NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial

NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Olivas E, E., & Alarcón, L. (2001). *Manual de prácticas de Microbiología básica y Microbiología de alimentos*. Ciudad Juárez, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Osorio-Vega, N. W. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 43–71). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0003_3

Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). FAO. [https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/#:~:text=El%20valor%20del%20pH%20en,%2C5%20\(muy%20alcalino\).](https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/#:~:text=El%20valor%20del%20pH%20en,%2C5%20(muy%20alcalino).))

Rellenos sanitarios en el estado de Tlaxcala. (2021). from <http://www.cge-tlaxcala.gob.mx/rellenos.html#:~:text=El%20relleno%20sanitario%20se%20localiza%2>

Roman, P. (2013). *Manual de compostaje del agricultor.* FAO. <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>

Santana, W., & Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso de compostaje* (Primera edición). Universidad de la Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros>

SEMARNAT. (2009). *Capítulo 7. RESIDUOS.* IEPSA. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf

USDA (agosto de 1999) *Guía para la Evaluación de la Calidad del Suelo*, Estados Unidos de Norteamérica

Villar Comesaña, I. (2017). *Estudio de la dinámica microbiana durante la fase de maduración del compostaje de residuos orgánicos. Vermicompostaje como alternativa de tratamiento.* Universidad de Vigo. http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/824/Estudio_de_la_din%C3%A1mica_microbiana.pdf?sequence=1