



APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN
XICOTEPEC, PUEBLA
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

**BENEMERITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

PRESENTA:

ALFONSO OLMOS ISLAS

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. MARIBEL CASTILLO MORALES

CODIRECTOR DE TESIS:

DRA. JANETTE ARRIOLA MORALES

PUEBLA, PUE. FECHA: Septiembre 2022

Índice

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Planteamiento del problema | 1 |
| 3. Justificación | 2 |
| 4. Objetivos | 3 |
| 5. Hipótesis | 4 |
| 6. Marco Teórico | 4 |
| 6.1 Residuos | 4 |
| 6.2 Residuos sólidos urbanos..... | 5 |
| 6.3 Residuos sólidos urbanos en México | 6 |
| 6.4 Residuos sólidos urbanos en Puebla | 6 |
| 6.5 Residuos sólidos urbanos en Xicotepec | 7 |
| 6.6 Xicotepec..... | 8 |
| 6.6.1 Actividad socioeconómica | 10 |
| 6.6.2 Clima | 10 |
| 6.6.3 Orografía | 10 |
| 6.6.4 Hidrografía | 12 |
| 6.6.5 Uso de suelo y vegetación | 14 |
| 6.6.6 Fauna | 14 |
| 6.7 Manejo de los residuos sólidos urbanos en Xicotepec | 16 |
| 6.8 Gestión Integral de los residuos sólidos urbanos | 18 |
| 6.9 Valorización de residuos | 19 |
| 6.10 Aprovechamiento de residuos | 19 |
| 6.11 Aprovechamiento de residuos orgánicos | 20 |
| 6.12 Compostaje | 20 |
| 6.13 Variables de interés dentro del proceso de compostaje | 21 |
| 6.13.1 Oxígeno | 21 |
| 6.13.2 Humedad | 22 |
| 6.13.3 Temperatura | 22 |
| 6.13.4 pH | 22 |
| 6.13.5 Relación Carbono Nitrógeno (C-N) | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 6.13.6 Tamaño de partícula | 23 |
| 6.14 Métodos de compostaje | 23 |
| 6.14.1 Sistema abierto | 24 |
| 6.14.1.1 Pilas estáticas con aireación pasiva | 24 |
| 6.14.1.2 Pilas estáticas con aireación forzada | 24 |
| 6.14.2 Sistema cerrado o en recipiente | 25 |
| 6.15 Aprovechamiento de residuos inorgánicos | 26 |
| 6.15.1 Separación de residuos inorgánicos desde el origen | 27 |
| 6.15.2 Almacenamiento temporal apropiado para los residuos inorgánicos | 27 |
| 6.15.3 Venta de los residuos inorgánicos | 28 |
| 6.16 Contaminación ambiental provocada por los residuos sólidos urbanos | 29 |
| 6.17 Educación ambiental | 30 |
| 7. Metodología | 31 |
| 7.1 Estudio de generación de residuos sólidos urbanos | 31 |
| 7.2 Caracterización de los RSU | 33 |
| 7.3 Aprovechamiento de residuos orgánicos | 34 |
| 7.4 Separación y almacenamiento temporal de residuos inorgánicos..... | 35 |
| 8. Resultados | 36 |
| 8.1 Generación de residuos sólidos urbanos en Xicotepec..... | 36 |
| 8.2 Cálculo de la generación per-cápita | 42 |
| 8.3 Subproductos de los RSU generados..... | 43 |
| 8.4 RSU susceptibles de aprovechamiento | 47 |
| 8.5 Valorización de los residuos orgánicos | 47 |
| 8.6 Valorización de los residuos inorgánicos | 55 |
| 8.7 Encuesta sobre percepción de la problemática de los RSU..... | 57 |
| 9. Conclusión..... | 66 |
| 10. Bibliografía..... | 67 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del Municipio de Xicotepec | 9 |
| Figura 2. Mapa de orografía del Municipio de Xicotepec..... | 11 |
| Figura 3. Mapa de hidrografía del municipio de Xicotepec | 13 |
| Figura 4. Mapa de usos de suelo y vegetación del municipio de Xicotepec | 15 |
| Figura 5. Mapa de ubicación geográfica del tiradero a cielo abierto “El Zoquital” | 17 |
| Figura 6. Diagrama de las etapas de gestión integral de los residuos sólidos urbanos | 18 |
| Figura 7. Recipientes adecuados para el almacenamiento temporal de los residuos | 28 |
| Figura 8. Mapa de ubicación geográfica de los puntos de muestreo en la cabecera municipal de Xicotepec | 33 |
| Figura 9. Promedio de RSU generado por punto de muestreo durante el estudio de generación por día | 38 |
| Figura 10. Promedio de RSU generados (Kg) por punto de muestreo durante el estudio de generación vs desviación estándar | 39 |
| Figura 11. Generación de RSU en KG por día de muestreo | 40 |
| Figura 12. Cantidad en Kg de RSU generados por punto de muestreo | 41 |
| Figura 13. Porcentaje de los subproductos de RSU generados en Xicotepec | 44 |
| Figura 14. Porcentaje de RSU generados de acuerdo con su clasificación | 45 |
| Figura 15. Generación de residuos orgánicos e inorgánicos por punto de muestreo | 46 |
| Figura 16. Composta 1, elaborada en el punto de muestreo 1 | 47 |
| Figura 17. Composta 2, elaborada en el punto de muestreo 5 | 47 |
| Figura 18. Composta 3, elaborada en el punto de muestreo 10 | 47 |
| Figura 19. Equipo digital de medición de pH, temperatura y humedad | 48 |
| Figura 20. Valores de humedad de las compostas monitoreadas en el experimento | 49 |
| Figura 21. Comportamiento de la humedad monitoreado en compostas | 50 |
| Figura 22. Valores de temperatura de las compostas monitoreadas en el experimento | 51 |
| Figura 23. Comportamiento de la temperatura monitoreada en compostas | 52 |
| Figura 24. Valores de pH de las compostas monitoreadas en el experimento | 53 |
| Figura 25. Comportamiento del pH monitoreado en compostas..... | 54 |
| Figura 26. Aplicación de compost en el punto de muestreo 1 | 54 |
| Figura 27. Aplicación de compost en el punto de muestreo 5 | 55 |
| Figura 28. Aplicación de compost en el punto de muestreo 10 | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 29. Uso que se le dio al compost en el punto de muestreo 10..... | 55 |
| Figura 30. Separación y almacenamiento de los residuos en el punto de muestreo 1..... | 56 |
| Figura 31. Separación y almacenamiento de los residuos en el punto de muestreo 5..... | 56 |
| Figura 32. Separación y almacenamiento de los residuos en el punto de muestreo 10..... | 57 |
| Figura 33. Encuesta sobre RSU pregunta 1..... | 58 |
| Figura 34. Encuesta sobre RSU preguntas 2, 3 y 4..... | 58 |
| Figura 35. Encuesta sobre RSU preguntas 5, 6 y 7..... | 58 |
| Figura 36. Encuesta sobre RSU preguntas 8, 9 y 10..... | 58 |
| Figura 37. Encuesta sobre RSU preguntas 11, 12 y 13..... | 58 |
| Figura 38. Encuesta sobre RSU preguntas 14 y 15..... | 58 |
| Figura 39. Pregunta 1..... | 59 |
| Figura 40. Pregunta 2..... | 59 |
| Figura 41. Pregunta 3..... | 60 |
| Figura 42. Pregunta 4..... | 61 |
| Figura 43. Pregunta 5..... | 61 |
| Figura 44. Pregunta 6..... | 62 |
| Figura 45. Pregunta 7..... | 62 |
| Figura 46. Pregunta 8..... | 63 |
| Figura 47. Pregunta 9..... | 63 |
| Figura 48. Pregunta 10..... | 64 |
| Figura 49. Pregunta 11..... | 64 |
| Figura 50. Pregunta 12..... | 65 |
| Figura 51. Pregunta 13..... | 65 |
| Figura 52. Pregunta 14..... | 66 |
| Figura 53. Pregunta 15..... | 66 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Generación estimada de RSU por entidad federativa | 7 |
| Tabla 2. Composición de los residuos inorgánicos generados en México | 26 |
| Tabla 3. Cantidad de RSU generados en Kg por punto de muestreo | 37 |
| Tabla 4. Generación Per-Cápita (Kg/hab/día) por punto de muestreo en Xicotepec..... | 42 |
| Tabla 5. Composición en KG y Porcentual de los RSU generados en Xicotepec | 43 |

1. Introducción

El constante incremento en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y la mala gestión integral que se tiene sobre estos ha provocado que se conviertan en una fuente de contaminación ambiental que afecta de forma directa al agua, el suelo y el aire, además de la proliferación de fauna nociva en los sitios de disposición final que representa un riesgo latente para la salud.

Por lo que este trabajo surge ante la oportunidad de mejora que se tiene en el aprovechamiento de los RSU que son generados en la cabecera municipal de Xicotepec, en el que se pretende la disminución de las cantidades de residuos que son depositadas sin tratamiento previo en el sitio de disposición final del municipio.

Debido a esto es que se realizaron el estudio de generación, se calculó la generación per-cápita y de caracterización de RSU, con la finalidad de conocer las cantidades de RSU generadas en las casas habitación, la cantidad generada por persona al día, así como los tipos y porcentajes de los residuos generados. A partir de los resultados obtenidos en los estudios se observó que la mayor parte de los RSU generados son susceptibles al aprovechamiento, por lo que se decidió implementar medidas enfocadas al aprovechamiento de los residuos orgánicos e inorgánicos, por lo que se capacitó a los habitantes de los puntos de muestreo por medio de videos e infografías acerca de cómo llevar a cabo estos procesos.

En este trabajo se muestra la viabilidad y beneficio que tiene el aprovechamiento de los residuos orgánicos e inorgánicos generados en el hogar, además de identificar el conocimiento de los habitantes acerca de la educación ambiental sobre el tema de res y del interés que ellos muestran por seguir aprendiendo acerca del tema, así como la importancia que le dan a participar en proyectos de esta índole, que busquen el beneficio social y ambiental.

2. Planteamiento del problema

La problemática ambiental acerca de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos tiene lugar a nivel mundial, ya que por causa de la urbanización se ha dado un incremento de la generación de RSU, haciendo más complicado su manejo adecuado. En México la Gestión Integral de los RSU no es la excepción, ya que solo se recolecta el 83.87% del total de RSU generados. En las 47 plantas de tratamiento de residuos del país ingresan alrededor de 8.944.49 ton/día, por lo que se estima que solo el 7.44% del total de residuos generados en el territorio son aprovechados.

Se estima que en el estado de Puebla se recolectan alrededor del 70.41% del total de RSU generados, los cuales son transportados y distribuidos a los 94 sitios de disposición final, de acuerdo con los municipios o zonas a las que estos son destinados. Mientras que para el aprovechamiento de residuos en este estado solo se dispone de 5 centros de acopio y 3 plantas de tratamiento de residuos, los cuales reciben una cantidad mínima comparado con el total de RSU que se generan en el estado. Ante la situación del manejo de los RSU que se tiene en el estado de Puebla y la carencia de proyectos para su gestión, provoca que la educación ambiental en el tema de aprovechamiento de residuos por parte de la población tome una gran importancia.

El municipio de Xicotepec de Juárez cuenta únicamente con un sistema de manejo que realiza actividades concernientes a la recolección de los residuos generados y su posterior traslado hacia el sitio de disposición final, con lo cual existe un punto de oportunidad sumamente grande y de impacto para el municipio.

Es prioritario, que el municipio cuente con estrategias que le permitan identificar los puntos de oportunidad relacionados con la cantidad y composición de dichos residuos que se generan en el municipio, para que así se encuentren en condiciones de plantear la valorización y aprovechamiento activo de los RSU dentro de su territorio y a su vez generen beneficios para la población a nivel local.

Dentro de las posibles formas de aprovechamiento para los residuos inorgánicos se encuentra su valorización a través del reciclaje de dichos materiales, por su parte los residuos orgánicos pueden ser sometidos a un proceso de compostaje aerobio. Ante la situación actual de gestión de los RSU en el municipio de Xicotepec, cobra importancia la educación ambiental en el tema de residuos que tengan los habitantes, ya que, si la población es capacitada, se logrará su participación activa además de crear conciencia sobre los graves problemas de contaminación causados por la generación descontrolada de residuos y una inadecuada gestión,

además de que conocer las técnicas para su aprovechamiento les permitirá obtener beneficios personales y para la propia comunidad, que contribuirán de forma directa en la reducción de la cantidad de RSU que llegan al sitio de disposición final.

3. Justificación

El municipio de Xicotepec se encuentra dentro de los 15 municipios más poblados dentro del estado de Puebla, la mayor parte población se encuentra distribuida en cabecera municipal, mientras que sus principales actividades económicas son la cafecultura y el comercio, ya que al ser considerado como pueblo mágico el turismo es y representa una gran oportunidad de crecimiento como actividad económica de impacto debido a las grandes riquezas naturales con que se cuentan, dentro de las cuales se encuentran sus corrientes de agua (ríos, arroyos), bosques, grandes cerros y su gran diversidad biológica.

Ante el gran margen de crecimiento que presenta el pueblo de Xicotepec, la elaboración de un plan para realizar la implementación de la gestión integral de los RSU presenta un gran punto de oportunidad para obtener beneficios para la población, así como de disminuir en gran porcentaje la cantidad de residuos que llegan al sitio de disposición, provocando que su tiempo de vida útil aumente considerablemente.

La necesidad de la generación de estrategias para la capacitación de la población se presenta ante la falta de conocimiento que presentan los habitantes sobre los temas de cuidado del medio ambiente como el manejo adecuado de los residuos, el cual se hace evidente ante las practicas inadecuadas como el quemar y tirar los residuos en las calles o espacios públicos, generando problemas de contaminación medioambiental y visual, causando mala imagen para el pueblo ante los turistas.

Mediante la realización del proyecto denominado “aprovechamiento de residuos en Xicotepec”, se busca generar información acerca de la cantidad de RSU que se generan, la caracterización que tienen los residuos y una estimación de la generación per-cápita. Además, se busca capacitar y crear conciencia en la población acerca del tema de residuos, que les permita mejorar su calidad de vida y asegurar la conservación del suelo, agua y aire del pueblo, a través de la valorización y el aprovechamiento integral de los RSU desde el origen.

4. Objetivos

Objetivo General

Valorizar los residuos sólidos urbanos generados en Xicotepec, Puebla

Objetivos Específicos

- Realizar estudio de generación de los residuos sólidos urbanos generados
- Elaborar compostas para el aprovechamiento de los residuos orgánicos
- Aprovechar la composta obtenida del aprovechamiento de residuos orgánicos
- Capacitar a la población para la separación y almacenamiento temporal de residuos inorgánicos
- Conocer la percepción de la población acerca de la situación de los RSU en Xicotepec

5. Hipótesis

Nula: La valorización de los residuos sólidos urbanos en Xicotepec, Puebla no es técnica y ambientalmente factible debido a las cantidades de residuos que se generan.

Alternativa: La valorización de los residuos sólidos urbanos en Xicotepec, Puebla es técnica y ambientalmente factible debido a las cantidades de residuos que se generan.

6. Marco Teórico

6.1 Residuos

El desarrollo en la industria que se presentó en México durante la segunda mitad del siglo XX produjo una mayor demanda de las materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población en constante aumento y con patrones de consumo cambiantes y cada vez más demandantes. A la par creció la generación de residuos de distintos tipos y los problemas asociados para su descomposición adecuada, así como las afectaciones a la salud humana y la contaminación de los ecosistemas (SEMARNAT, 2012).

La LGPGIR define como residuos aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamientos o disposición final conforme a los dispuesto en la misma Ley (DOF, 2003)

Mientras que Campins Eritja M. (1994) considera que el término residuo comprende todo bien u objeto que se obtiene a la vez que el producto principal, e incluye tanto los que han llegado a ser inaprovechables (“desechos”), como los que simplemente subsisten de cualquier tipo de proceso.

Las actividades que el hombre realiza son de muy diversa índole y naturaleza, y en función de estas se generan diferentes tipos de residuos que varían en función de sus características y origen, se les clasifica en tres grandes grupos (Gómez Delgado M., 1995):

- Residuos Sólidos Urbanos (RSU), son aquellos residuos que resultan como producto de las actividades antropogénicas (DOF, 2003).
- Residuos de Manejo Especial (RME), son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o residuos peligrosos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (DOF, 2003).
- Residuos Peligrosos (RP), son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB, Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad, o que contengan agentes Biológico-infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminando cuando se transfieran a otro sitio (DOF, 2003).

6.2 Residuos sólidos urbanos

De acuerdo con la LGPGIR (DOF, 2003), los residuos sólidos urbanos (RSU) son aquellos que son generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas como por ejemplo los envases de plástico, latas, cartón, papel, algodón, fibras sintéticas, madera, loza, cerámica y residuos orgánicos, provenientes de los alimentos y la poda de jardines y arbolados; los residuos que provienen 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.

La LGPGIR (DOF, 2003) establece en su artículo 18 que los residuos sólidos urbanos se clasifican en orgánicos (desechos de origen biológico que alguna vez estuvieron vivos o fueron parte de un ser vivo) e inorgánicos (desechos de origen no biológico, de origen industrial o en algún otro proceso no natural) con el objetivo de facilitar la separación y se pueda determinar el destino correcto de cada residuo. A partir de esta clasificación, se considera la subclasificación de biodegradabilidad que es la capacidad que tienen los residuos de ser degradados biológicamente, la cual tiene importancia específica en la gestión de residuos, ya que, si se cuenta con la capacidad de que un medio biológico degrade los residuos, brinda una ventaja para realizar una correcta disposición final (Romero Paredes A., Bergua Conde M., Mark Oven, 2013).

Kaza, Yao, Bhada-Tata y Van Woerden (2018) mencionan que los residuos sólidos urbanos generados en el mundo son de aproximadamente 2.01 mil millones ton/año y se espera que aumente a aproximadamente 3,40 mil millones de ton/año para el año 2050. Lo que significa un aumento en la generación de residuos de 0.74 a 0.88 kg por persona al día. Sin embargo, estas son sólo aproximaciones, ya que la generación de RSU varía de acuerdo con la región, país, ciudades e incluso por zonas dentro de una misma ciudad.

6.3 Residuos sólidos urbanos en México

De acuerdo con los datos establecidos por el Diagnóstico Básico para Gestión Integral de la SEMARNAT publicado en 2020, la generación de residuos a nivel nacional es de 120,128 toneladas/día, con una generación per-cápita de 0.944 kg de residuos al día, de los cuales 0.653 Kg/hab/día pertenecen a residuos domiciliarios. Considerando las cifras citadas, se estima que en un año se generan 43,846,720 ton de residuos sólidos urbanos en el país.

La composición de los residuos sólidos urbanos generados en México está conformada por el 38.55% de residuos susceptibles de aprovechamiento, entre los que se encuentran el cartón, envase de cartón encerado, fibras sintéticas, hule, lata, material ferroso y no ferroso, papel, PET, plástico rígido y de película, poliestireno

expandido, poliuretano, vidrio de color y transparente. Los residuos orgánicos representan el 46.42%, dentro de los cuales se encuentran el cuero, fibra dura vegetal, hueso, madera, residuos alimentarios y residuos de jardinería, mientras que el 22.03% corresponde a residuos como el algodón, loza y cerámica, material de construcción, pañal desechable, residuo fino y trapo (SEMARNAT, 2020).

6.4 Residuos sólidos urbanos en Puebla

En el año 2009 el estado de Puebla generó 1,770 toneladas de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), lo que equivale al 4.61% del total generado a nivel nacional. En el estado se generan 3,415.31 toneladas al día de RSU, de los cuales más de la mitad (50.7%) son orgánicos y el 30% se divide en plásticos, papel, cartón, vidrio y metales (CESOP, 2012)

Para el año 2017 la generación diaria de RSU en el estado de Puebla aumentó aproximadamente a 5,991 toneladas, de las cuales se recolectaban solo el 70.41% lo que equivale a 4,218 toneladas al día. El aumento en la generación de RSU para el estado significó que Puebla se convirtiera en el 6° estado con mayor generación de residuos en el país al generar el 4.98% del total de RSU generados al día a nivel nacional (SEMARNAT, 2020).

En la tabla 1 se observa la generación estimada de RSU en toneladas/día por entidad federativa en el que de acuerdo con la SEMARNAT (2020), los siete estados que más residuos generan son Estado de México (16,739), Ciudad de México (9,552), Jalisco (7,961), Veracruz (7,813), Guanajuato (6,031), Puebla (5,991) y Nuevo León (5310).

Tabla 1. Generación estimada de RSU por entidad federativa.

| Entidad Federativa | Toneladas por día | Entidad Federativa | Tonelada por día |
|-------------------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| Aguascalientes | 1,330 | Morelos | 1,878 |
| Baja California | 3,535 | Nayarit | 1,146 |
| Baja California Sur | 737 | Nuevo León | 5,310 |
| Campeche | 888 | Oaxaca | 3,538 |
| Chiapas | 4,964 | Puebla | 5,991 |
| Chihuahua | 3,638 | Querétaro | 2,085 |
| Ciudad de México | 9,552 | Quintana Roo | 1,546 |
| Coahuila de zaragoza | 3,032 | San Luis Potosí | 2,640 |
| Colima | 743 | Sinaloa | 3,068 |
| Durango | 1,767 | Sonora | 2,916 |
| Estado de México | 16,739 | Tabasco | 2,471 |
| Guanajuato | 6,031 | Tamaulipas | 3,591 |
| Guerrero | 3,421 | Tlaxcala | 1,123 |
| Hidalgo | 2,694 | Veracruz | 7,813 |
| Jalisco | 7,961 | Yucatán | 2,016 |
| Michoacán | 4,459 | Zacatecas | 1,505 |
| Nacional 120,128 t/día | | | |

Fuente SEMARNAT, 2020

6.5 Residuos sólidos urbanos en Xicotepec

De acuerdo con el Programa de prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Puebla (Universidad del Desarrollo del Estado de Puebla, 2017), en el año 2010 el municipio de Xicotepec de Juárez generó 41,845.15 Kg de residuos sólidos urbanos al día, lo que es equivalente a una generación per-cápita de 0.553 Kg/hab/día. Un año después, en el 2011 la generación de RSU aumentó a 42,980.83 Kg al día, lo que significó el incremento en la generación per-cápita a 0.568 Kg/hab/día.

Aunque los datos de la composición de los RSU generados en el municipio de Xicotepec de Juárez son desconocidos, el Programa de Prevención y gestión Integral de Residuos para el Estado de Puebla (Universidad del Desarrollo del Estado de Puebla, 2017) establece los datos de la composición de RSU de la región Sierra Norte considerando los municipios de: Coatepec, Camocuautla, Xochiapulco, San Felipe Tepatlán, Tepango de Rodríguez, Zongozotla, Amixtlán, Tlaxco,

Tlapacoya, Honey, Hermenegildo Galeana, Aquixtla, San Esteban Cuautempan, Naupan, Juan Galindo, Tepetzintla, Ahuazotepec, Olintla, Ateutla, Jalpan, Jopala, Ahuacatlán, Chiconcuautla, Francisco Z. Mena, Tlacuilotepec, Pantepec, Tlaola, Cd. de Pahuatlán de Valle, Ixtacamaxtitlán, Cd. de Tetela de Ocampo, Venustiano Carranza, Cd. de Chignahuapan, Xicotepec de Juárez, Zacatlán y Huauchinango. Los RSU de esta región se componen por el 35.22% de materia orgánica, 20.07% de papel y cartón, 22.31% de plástico, 6.31% de vidrio, 5.38% de metales y el 10.71% catalogados como otros sin especificar su composición.

6.6 Xicotepec

El municipio de Xicotepec de Juárez tiene una superficie terrestre de 312,567 Km². De acuerdo con el último censo de población realizado por el INEGI en el 2015, el municipio de Xicotepec cuenta con 81,455 habitantes y su densidad de población es de 260.60 habitantes/Km². La cabecera municipal cuenta con 48,583 habitantes lo que equivale al 59.64% de la población total del municipio, mientras el porcentaje restante se encuentra distribuido en localidades, las cuales llegan a tener un grado alto y medio de marginación (INEGI, 2015).

El municipio de Xicotepec de Juárez se encuentra a 1180 metros sobre el nivel de mar y está ubicado en la parte Noroeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 20° 14' 18" y 20° 26' 26' 12" de latitud Norte, mientras que los meridianos 97° 45' 00" y 98°03' 06" de longitud occidental (INAFED,2006). Sus colindancias son al norte con el municipio de Tlacuilotepec y Jalpan; al este con el municipio de Jalpan, el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y el municipio de Zihuatehutla; al sur con los municipios de Zihuatehutla, Juan Galindo y Huachinango; al oeste con los municipios de Huachinango y Tlacuilotepec (SEDESOL, 2013)

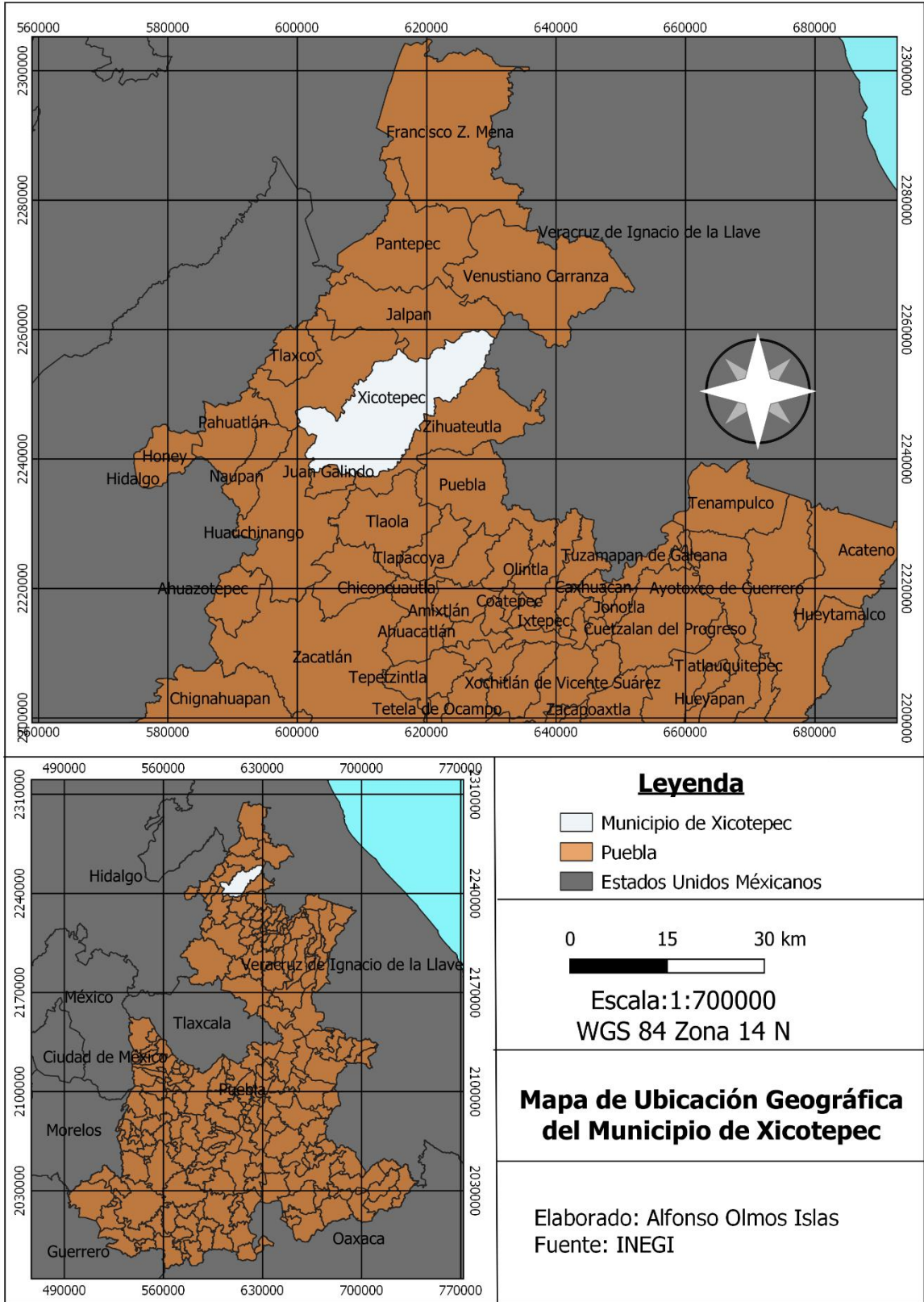


Figura 1. Mapa de la ubicación geográfica del Municipio de Xicotepéc. Fuente: Autoría propia

6.6.1 Actividad Socioeconómica

Las principales actividades económicas del municipio son el comercio y la cafeticultura (INAFED,2006), la cual tuvo su apogeo entre la década 1950 hasta la década de 1980 cuando comenzó a disminuir, tras la pérdida de los programas de apoyo gubernamentales y la inversión extranjera, provocando que hasta el 40% de las fincas cafetaleras fueron abandonadas o tuvieron que cambiar de cultivo, provocando una crisis económica que hasta ahora no se ha revertido (Toscana A., 2017).

Entre el 2012 y 2015 hubo un repunte en la economía debido a la construcción de un tramo de la Autopista México-Tuxpan, la cual pasa muy cerca del municipio de Xicotepec. Para realizar la obra, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes adquirió varios predios de la región a precio comercial, además de que en Xicotepec se instalaron las oficinas y empleados encargados de la obra, generando empleos y dinero que trajo consigo un breve auge inmobiliario de recursos (Toscana A., 2017).

La entrada de Xicotepec al Programa de Pueblos Mágicos (PPM) generó grandes expectativas, pero no ha sido un detonante del desarrollo local, por lo que las condiciones económicas de la población no han mejorado y no hay afluencia turística que permita el crecimiento económico (Toscana A., 2017).

6.6.2 Clima

De acuerdo con la modificación al sistema de clasificación climática de Köppen elaborada por García E. (2004) para México, el municipio de Xicotepec de Juárez presenta dos tipos de clima, el primer tipo de clima es el cálido húmedo con lluvias todo el año Af, mientras que el segundo tipo de clima y el más predominante es el Semicálido húmedo con lluvias todo el año (A)Cf. La temperatura media anual que se presenta es de 18.4°C, su temperatura del mes más frío es de 13.7 °C y la temperatura del mes más cálido es de 22.1°C.

6.6.3 Orografía

El municipio de Xicotepec se halla sobre la superficie de dos regiones morfológicas, la primera va de la cota 1,000 hacia el noroeste, al declive del Golfo, y la segunda va de la misma cota hacía el sureste a la Sierra Negra (INAFED, 2006).

La porción occidental del municipio es muy accidentada debido a que presenta constantes ascensos y descensos que muestran una tendencia a declinar abruptamente hacia el paso del río San Marcos. Destacan una serie de cerros y sierras como el Nactanca, Peña Blanca y Las Pilas, aunque cabe destacar que donde se asienta la ciudad de Xicotepec de Juárez es una zona más o menos plana (INAFED, 2006).

La porción oriental tiene un relieve diferente, debido a que se alzan dos grandes mesas, la Junta y Planada, con más de 10 kilómetros de largo y 4 kilómetros de ancho, su descenso hacia el río el Metate y San Marcos es abrupto (INAFED, 2006).

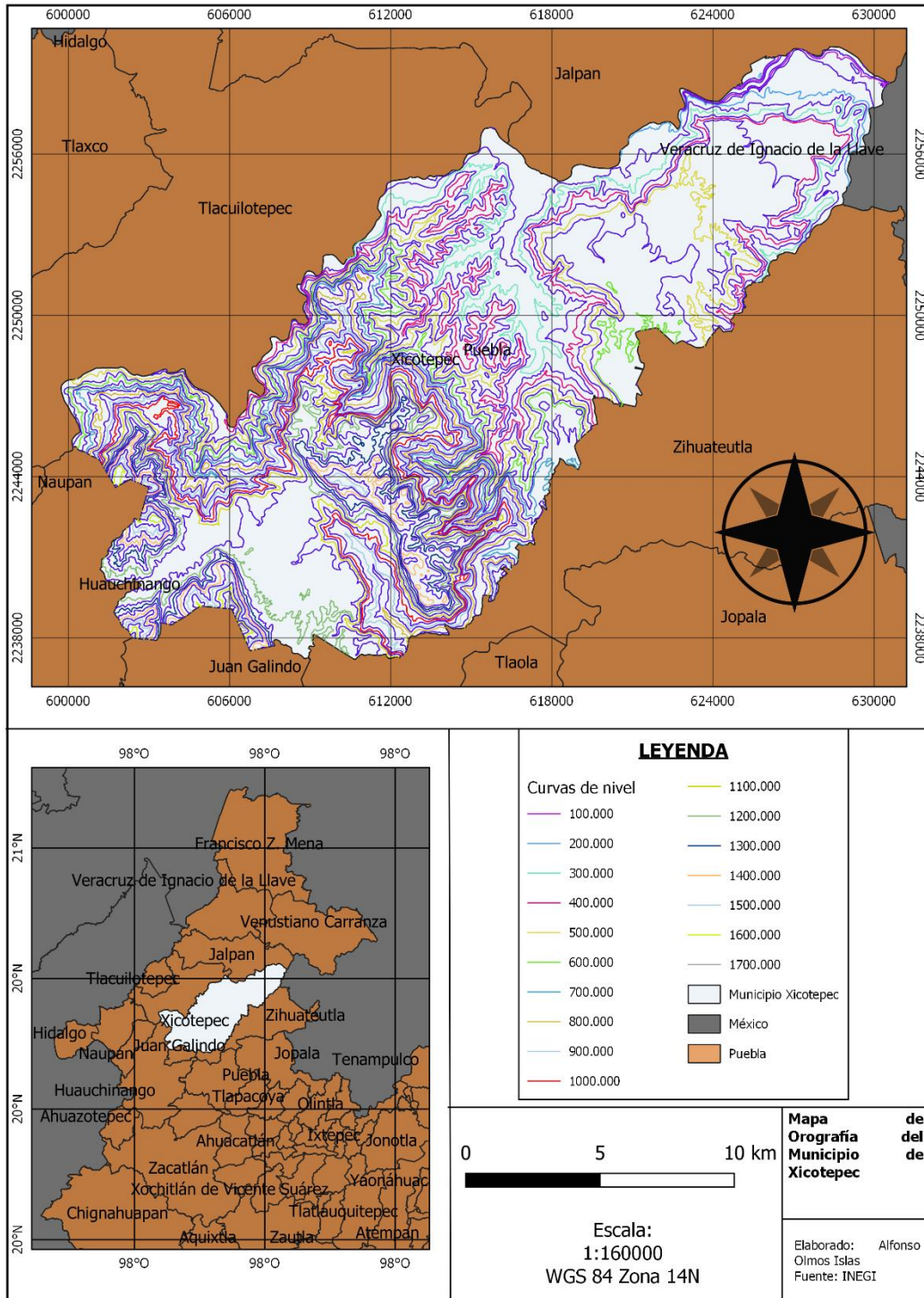


Figura 2. Mapa de orografía del Municipio de Xicotepéc. Fuente: Autoría propia

6.6.4 Hidrografía

De acuerdo con el INEGI (1994) el municipio de Xicotepec pertenece a dos cuencas; la cuenca del R. Tecolutla (clave RH27Bb) que tiene por subcuenca al R. Necaxa, la cual abarca el 12.67% de la superficie municipal, y la cuenca principal que es la del R. Cazonas (clave RH27Cb) que tiene por subcuenca el R. San Marcos que abarca el 87.33% de la superficie del municipio.

El municipio cuenta con varios ríos importantes que desembocan en el Golfo de México, los cuales son descritos a continuación:

El río San Marcos, que recorre todo el norte del municipio en dirección oeste-este, sirve de límite con el municipio de Tlacuilotepec y Jalpan, y constituye el principal formador del Cazonas, que desemboca en el Golfo.

El río Metate recorre el oriente del municipio en dirección sur-norte, recibiendo a su paso las aguas de los ríos Cilima, Los Limones, Pita, Nactanca, Axocopatitla y La Magdalena, antes de unirse al San Marcos.

Los ríos Santa Luz, Amixtlán, el Metate y Noche Oscura recorren el noreste hasta unirse al río San Marcos. Por último, el arroyo sucio recorre la porción meridional y desemboca en el río Necaxa, afluente del Tecolutla (INAFED, 2006)

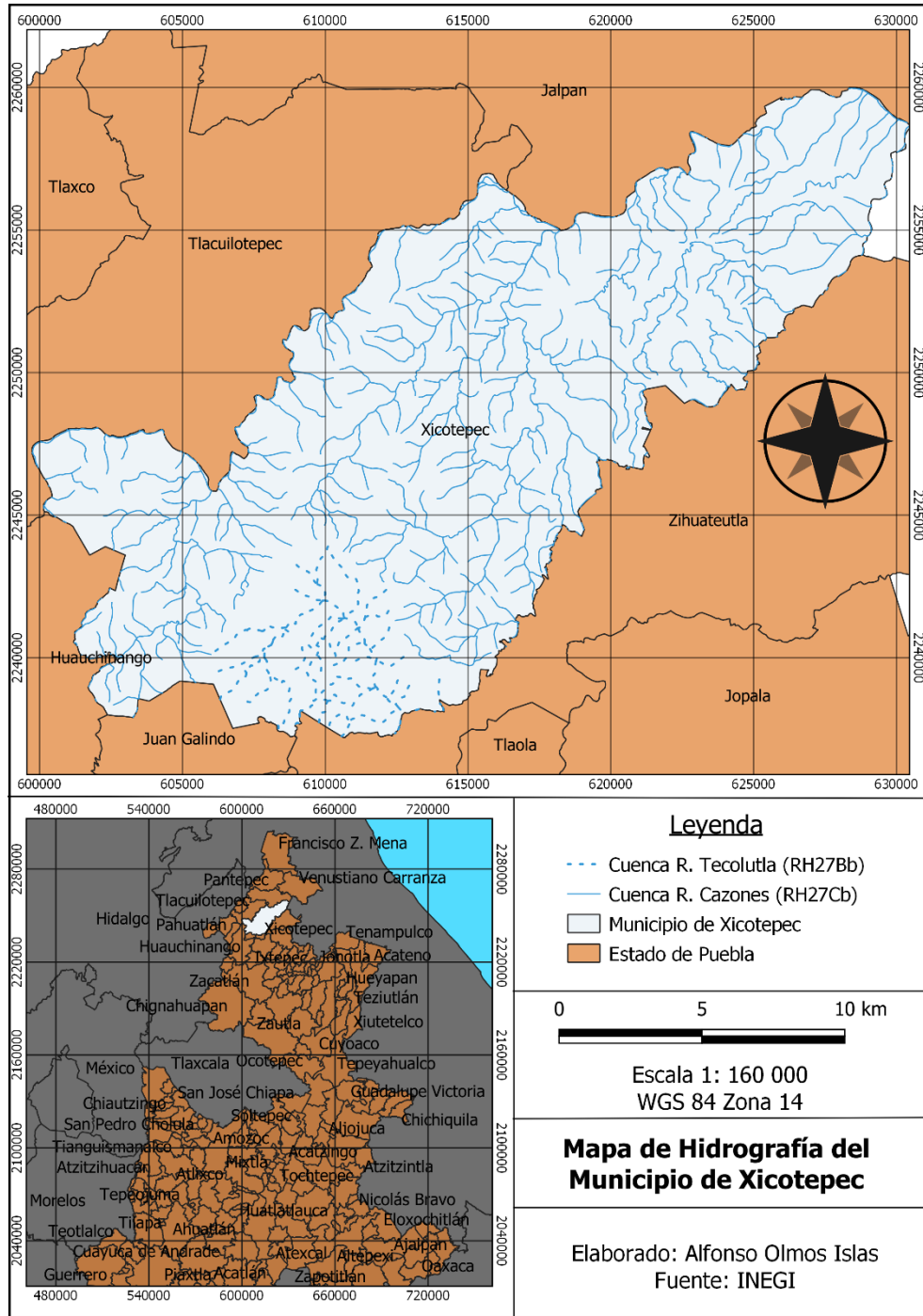


Figura 3. Mapa de hidrografía del municipio de Xicotepec. Fuente: Autoría propia

6.6.5 Uso de suelo y Vegetación

De acuerdo con el mapa uso de suelo y vegetación del año 2017, elaborado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el municipio de Xicotepec presenta los siguientes fragmentos de vegetación y uso de suelo.

El uso de suelo del municipio de Xicotepec presenta diferentes tipos de agricultura dentro de las que se encuentran la temporal anual, temporal anual y permanente, temporal permanente y temporal semipermanente y permanente (INEGI, 2017). También cuenta con gran diversidad edafológica en su territorio, en el que se identifican cinco grupos de suelos, en los que se encuentran el Cambisol, Acrisol, Regosol, Vertisol y Litosol. (INAFED, 2006)

La vegetación del municipio de Xicotepec se encuentra compuesta por bosques de pino-encino, bosque mesófilo de montaña, pastizal cultivado e inducido y selva alta perennifolia. (INEGI, 2017)

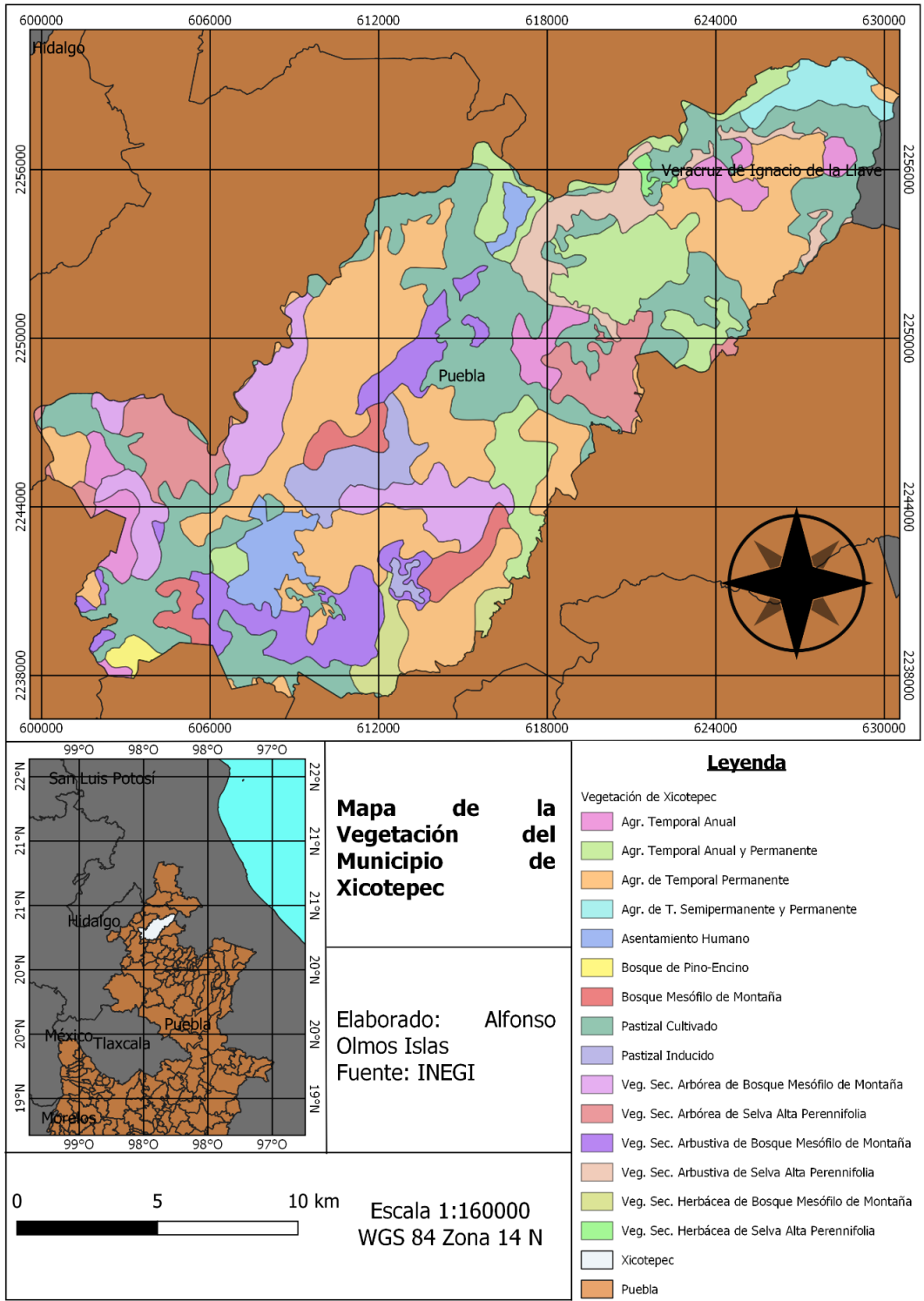


Figura 4. Mapa de uso de suelo y vegetación del municipio de Xicotepéc Fuente: Autoría propia

6.7 Manejo de los residuos sólidos urbanos en Xicotepec

De acuerdo con Garrido Fosado H. E. (Comunicación personal, 25 de agosto de 2021) Secretario de Infraestructura, Servicios Públicos y Ecología del Municipio de Xicotepec, la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en la cabecera municipal de Xicotepec de Juárez, se realiza por medio de camiones recolectores de basura, con capacidad de carga de 8 toneladas.

Tras la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos, a cargo del municipio, son transportados para una disposición final en el tiradero a cielo abierto ubicado en la barranca del Zoquital. El tiradero localizado en las coordenadas 20°18'56.0" N, 97°57'16.3" E, se encuentra sobre la cuenca del río San Marcos, que es considerada de gran importancia ecológica para la región. Este tiradero a cielo abierto también se encarga de recibir todos los RSU generados en el municipio de Juan Galindo, ya que, por causas geográficas, este municipio no cuenta con el terreno adecuado para un sitio de disposición final de sus residuos (Garrido Fosado H. E., Comunicación personal, 25 de agosto de 2021).

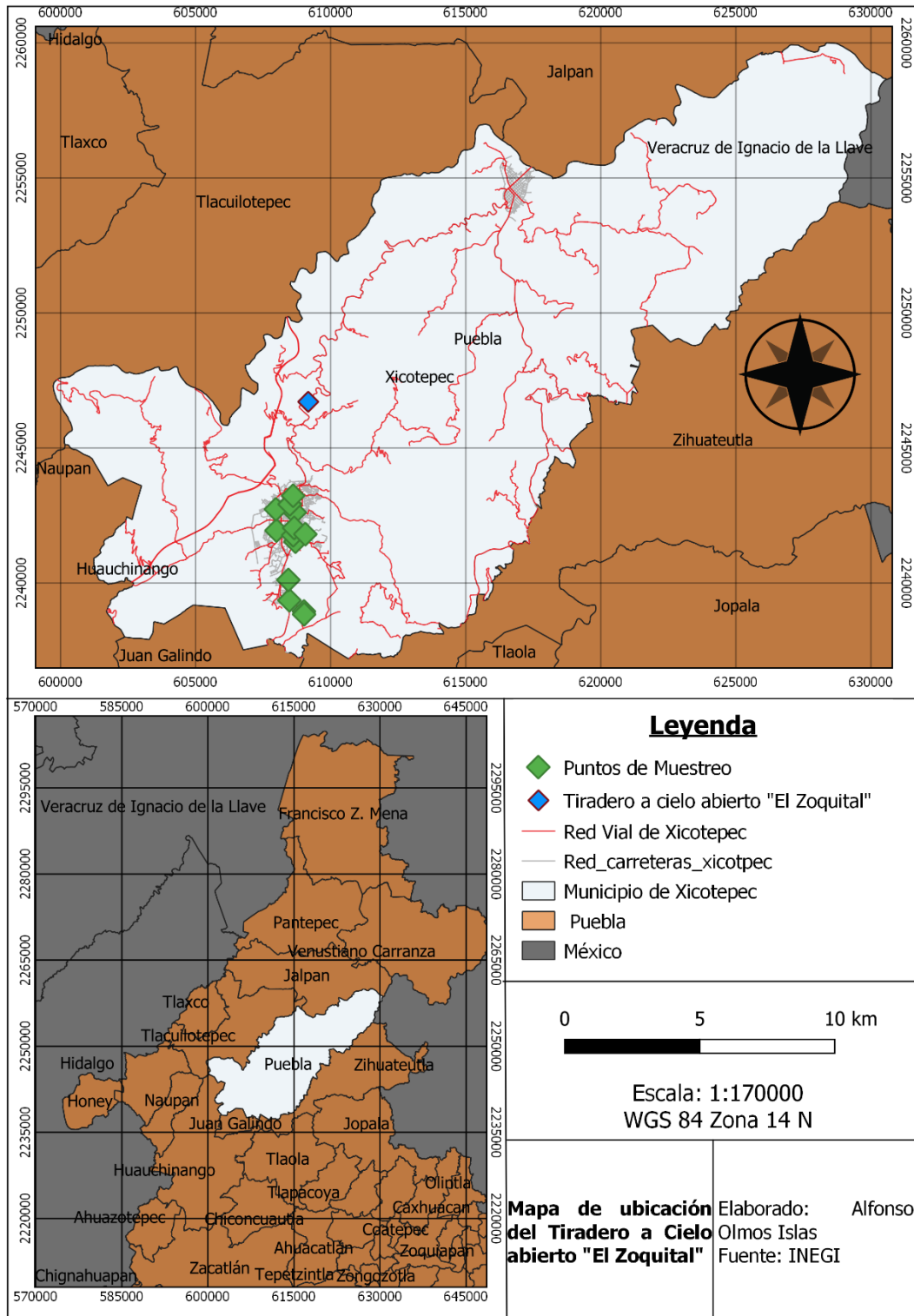


Figura 5. Ubicación geográfica del tiradero a cielo abierto en la barranca del Zoquital” Fuente: Autoría propia

6.8 Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

La Gestión integral de los RSU tiene gran incidencia en la protección del ambiente y en la salud pública. En América Latina y el Caribe, generalmente, la gestión en los centros urbanos y rurales se ha limitado a la prestación de un servicio de aseo centrado en la recolección de los residuos (basura) y su transporte a un sitio de disposición final, sin ningún manejo técnico, de forma descontrolada, al aire libre o cuerpos de agua, causando graves problemas ambientales y afectando la salud (CARE Internacional-Avina, 2012)

La aplicación de un programa de Gestión Integral de los RSU tiene como objetivo disminuir la cantidad de residuos generados que son enviados al sitio de disposición final, por lo que propone su aprovechamiento mediante la implementación de acciones, técnicas, operaciones y procesos como el reciclaje, la reutilización y compostaje, los cuales contribuyen directamente a la prevención del impacto negativo en el medio ambiente y social (SMA,2020)

La Gestión Integral de los RSU busca que se obtengan beneficios ambientales, económicos y sociales durante el proceso de manejo de los residuos y que se protejan la integridad de los recursos naturales y se contribuye al crecimiento económico y al bienestar social (SMA,2020) a través de la implementación de acciones consideradas dentro del proceso, incluidas desde la generación de los RSU hasta su disposición final. Para lo cual, a continuación, se describen las etapas que la conforman.

Dentro de la bibliografía existente, los autores manejan diferentes etapas, pero de manera general se incluyen: la generación de RSU, separación en origen, el almacenamiento domiciliario, recolección, transferencia y transporte, tratamiento y valorización de residuos, y finalmente disposición final.

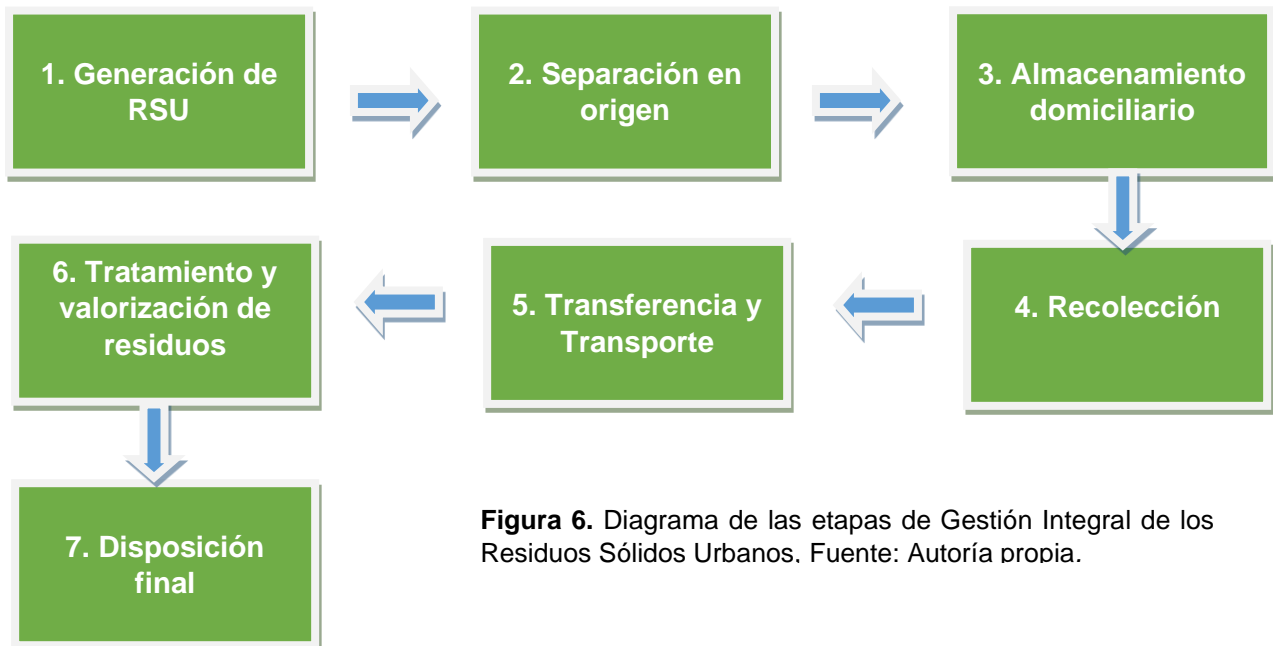


Figura 6. Diagrama de las etapas de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos. Fuente: Autoría propia.

6.9 Valorización de residuos

De acuerdo con la LGPGIR (DOF, 2003) la valorización es el principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia, tecnológica y económica.

Cuando la generación de residuos se vuelve inevitable, estos deben pasar a ser considerados como un recurso a partir del cual pueden ser recuperados materiales reusables, materia prima, nutrientes orgánicos e incluso energía. A este proceso de recuperación y tratamiento que pone a gran parte de los desechos en condiciones técnicas y económicas de ser devueltos al mercado se le denomina proceso de valorización de los Residuos Sólidos Urbanos (Ibáñez Julio R., Corroccoli Mario D., 2002).

La valorización de los RSU engloba todas las etapas del ciclo de vida de estos residuos y genera un beneficio social, ambiental y económico conocido como economía circular. Las opciones de tratamientos utilizados para la valorización son la reutilización, recuperación y clasificación del material reciclable, compostaje de residuos orgánicos, biogasificación, recuperación de energía y vertederos controlados exclusivamente para la disposición final de aquella fracción de los RSU que no puede ser recuperada por los métodos anteriormente citados. (SDSPA Argentina, 2000).

La adopción del proceso de valorización y el diseño de un plan de implementación ajustado a las características de la ciudad, permite a la población disponer de un sistema económico y ambientalmente adecuado de manejo de sus residuos (Ibáñez Julio R., Corroccoli Mario D., 2002).

6.10 Aprovechamiento de residuos

El aprovechamiento de los RSU es un conjunto de acciones que busca disminuir el impacto ambiental generado por la demanda y uso de las materias primas, además del porcentaje de residuos que tienen como sitio de disposición final los tiraderos a cielo abierto o los rellenos sanitarios que no cumplen con la normatividad, por medio de procesos de reutilización, reciclado, remanufacturado, rediseño y recuperación de los materiales secundados, que permiten recuperar el valor económico de los residuos (DOF, 2003).

El actual sistema de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) en México, utiliza de manera parcial una estructura informal para valorizar los materiales reciclables cuya base se compone principalmente de “pepenadores”, quienes realizan las tareas de recuperación de materiales entre los RSU para luego

venderlos a intermediarios o directamente a los centros de acopio locales (Kokusai J. 1998, Semarnat 2020).

6.11 Aprovechamiento de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos representan el mayor porcentaje (46,42%) de la composición de los RSU generados en México, lo que corresponde a 55,763 ton/día (SEMARNAT, 2020). Sin embargo, estos residuos no reciben el tratamiento adecuado para su aprovechamiento, ya que son mezclados con los demás tipos de residuos, para al final ser depositados en los tiraderos a cielo abierto o en los rellenos sanitarios que se tiene por sitios de disposición final.

Del porcentaje total de residuos orgánicos generados en el país, el 33.07% corresponde a los residuos alimenticios y el 10.84% a los residuos de jardinería. Por lo tanto, se estima que el 94.59% del total de los residuos orgánicos se pueden aprovechar mediante el proceso de compostaje. (SEMARNAT, 2020).

6.12 Compostaje

El compostaje es un proceso de degradación o descomposición de la materia orgánica como las heces de animales, residuos alimenticios y de jardinería, por acción de microorganismos (bacterias, hongos y lombrices) en condiciones controladas, en el que se obtiene como resultado el compost, el cual es empleado para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

La producción de composta mejora la estructura y características del suelo, como la capacidad de retención de agua, la fertilidad, regula la temperatura edáfica, aporta carbono fomentando la actividad microbiana, mineraliza al nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y mantiene los niveles de pH adecuados para los cultivos y plantas. (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

El proceso de compostaje considera cuatro fases que lo conforman, la fase mesófila, fase termófila o de higienización, fase de enfriamiento o mesófila II, fase de maduración, las cuales se describen a continuación.

- Fase Mesófila

El material comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de la T° se debe a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N, generando calor. La descomposición de los compuestos solubles (azúcares) produce ácidos orgánicos lo que provoca que el pH pueda bajar cerca de 4.0. La duración de esta fase es entre dos y ocho días (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

- Fase Termófila o de Higienización

Cuando el material alcanza temperaturas mayores a los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a esa temperatura (microorganismos mesófilos) son remplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría son bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando fuentes más complejas de C, como la celulosa y lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60°C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de la descomposición de las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella ssp* (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

- Fase de Enfriamiento o Mesófila II

Cuando las fuentes de carbono y nitrógeno se agotan en el material de compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. En esta fase continua la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar la temperatura de los 40° C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende un poco, aunque el pH normalmente se mantiene alcalino (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

- Fase de Maduración

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácido húmicos y fúlvicos (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

6.13 Variable de interés dentro del proceso de compostaje

6.13.1 Oxígeno

El compostaje es un proceso aerobio que debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, lo que permite al mismo tiempo la liberación de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. La necesidad de oxígeno varía durante las fases del proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica. La saturación del oxígeno no debe bajar de 5%, siendo 10% el nivel óptimo (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

El exceso de aireación provoca el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis, esto produce malos olores, acidez por la presencia de algunos compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H₂S) o metano (CH₄) en exceso (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

6.13.2 Humedad

El parámetro de la humedad se encuentra vinculada a los microorganismos, debido a que usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos por medio de la membrana celular (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

El rango óptimo para el compostaje se sitúa entre el 45% y 60% de agua en peso de material base, aunque esta puede variar dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad es menor del 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que las fases de degradación sean completadas, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es mayor al 60% el agua satura los poros e interfiere en la oxigenación del material (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

6.13.3 Temperatura

La temperatura del compostaje tiene un amplio rango de variación en función de las fases del proceso. El inicio el compostaje se da a temperatura ambiente, y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de calentamiento, para posteriormente bajar a temperatura ambiente durante la fase de maduración (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

Lo recomendable es que temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

6.13.4 pH

El pH es un parámetro que condiciona la presencia de microorganismos en el proceso de compostaje, ya que los valores fuera del rango ideal son perjudiciales para determinados grupos. El pH extremo no es impedimento para el proceso, pero si lo es para su cinética, debido a dificulta el tipo de reacciones y su velocidad del proceso de compostaje (Barrera Gómez R., 2006).

El rango ideal del pH durante el proceso de compostaje es entre 4.5 y 8.5, el cual depende de la materia de origen y varía en cada fase del proceso (FAO, 2013). En la primera fase del proceso el pH puede disminuir debido a la formación de ácidos orgánicos, pero a lo largo de su proceso aumenta por causa del amoníaco desprendido en la descomposición de las proteínas (Barrera Gómez R., 2006).

6.13.5 Relación Carbono-Nitrógeno (C-N)

Para que el proceso de compostaje se desarrolle forma adecuada es importante que exista equilibrio entre los nutrientes, especialmente entre el nitrógeno y el carbono (proceso de compostaje). El carbono (C) es una fuente de energía para los microorganismos mientras que el nitrógeno (N) es un elemento necesario para la síntesis proteica (Sztern D., Pravia M.A., 1999).

Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A. (2013) mencionan que la relación C/N, expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógenos que contiene un material y su relación numérica se obtiene al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales a compostar. Esta relación varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua que va desde 35:1 a 15:1, el cual es considerado el rango ideal.

6.13.6 Tamaño de partícula

En el desarrollo del proceso de compostaje la actividad microbiana se relaciona con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 30 cm. (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

6.14 Métodos de compostaje

El objetivo de los distintos tipos de compostaje permite optimizar las diferentes condiciones que se presentan antes de realizar el proceso, para lograr obtener un compost de buena calidad, con la mayor concentración de nutrientes y nula presencia de microorganismos patógenos. Es de considerar que ningún método es más eficiente que otro, ya que el control y mantenimiento de las condiciones de cada uno dependen del clima del lugar en que se realiza el proceso, el tipo de material, el área de terreno disponible, el costo de los productos y mano de obra (Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U., 2013).

Los métodos de compostaje pueden ser de dos tipos, de sistema abierto o sistema cerrado. Los sistemas abiertos son aquellos que se hacen al aire libre, y los cerrados los que se hacen en recipientes o bajo techo (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

6.14.1 Sistema abierto

La aireación del sistema de composteo abierto o en pilas puede ser por aireación pasiva la cual se realiza por medio de ventilación por convección natural o por aireación forzada la cual permite controlar la concentración de oxígeno (Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U., 2013).

6.14.1.1 Pilas estáticas con aireación pasiva

La tecnología de compostaje en pilas es muy simple y económica, por lo tanto, es el sistema más utilizado. Los materiales se amontonan sobre el suelo o pavimento, sin comprimir. La forma de la pila se recomienda sea trapezoidal y para zonas lluviosas semicircular para favorecer el drenaje, mientras que las medidas optimas se recomienda que sean entre 1.2 y 2.0 m de altura por 2.0 y 4.0 m de ancho (Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U., 2013).

El sistema es muy favorable debido a su relación costo-eficiencia en comparación con los otros sistemas, debido a que estas se ventilan por medio de convección natural. Este tipo de ventilación sucede por qué al principio se encuentra un proceso de fermentación de bacterias que demandan energía, desprende calor al medio lo que calienta el aire de la pila. Debido a que el aire caliente es más ligero, tiene de subir y salir por la superficie de la pila, creando un espacio vacío parcial que aspira el aire de los lados. La forma y dimensiones optimas de la pila depende del tamaño de partícula, contenido de humedad, porosidad y nivel de descomposición, los cuales afectan la aireación dentro de la pila (Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U., 2013).

Este tipo de compostaje es un proceso muy versátil y con mínimas complicaciones. Se han logrado resultados satisfactorios en el composteo de estiércol, restos de poda, fangos y residuos sólidos urbanos, mientras las condiciones aerobias y el contenido de humedad sean mantenidas estables (Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U., 2013).

6.14.1.2 Pilas estáticas con aireación forzada

Este tipo de pilas tienen un método más sofisticado en el cual se colocan los materiales sobre un conjunto de tubos perforados o en una solera porosa, conectada a un sistema que aspira o insufla aire a través de la pila, el cual puede ser aportado de forma continua o intervalos ligados a un termostato que llegada a la temperatura de 60°C acciona un mecanismo de inyección de aire hasta que la temperatura desciende hasta el valor deseado. Una vez que la pila este hecha, no se debe tocar hasta que la etapa activa de compostaje haya terminado (duración de

entre cuatro y ocho semanas) (Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U., 2013)

El sistema permite un mayor control de la concentración de oxígeno, manteniéndolo en un intervalo apropiado de 15% a 20%, favoreciendo la actividad metabólica de los microorganismos aerobios que desarrollan el proceso (Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U., 2013)

Debido a que no hay mecanismos para mezclar el material durante este proceso de compostaje, las pilas estáticas ventiladas suelen usarse con materiales homogéneos como lodos o residuos sólidos de los biodigestores anaerobios que mezclado con un substrato seco y poroso como astillas forman una película líquida delgada en la que tiene lugar la descomposición, además de materiales heterogéneos como los residuos de las granjas o establos que tienden a requerir más mezclado (Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U. 2013).

6.14.2 Sistema cerrado o en recipiente

Este tipo de sistema de compostaje se puede realizar en silos, tambos o contenedores cerrados por lo que frecuentemente es usado a nivel familiar. El uso de este tipo de recipientes tiene una serie de características que favorecen al sistema, como: el evitar la acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita las labores de volteo, facilita la extracción de lixiviado, control de la invasión de vectores (ratones y aves) (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

Este sistema se considera una tecnología práctica para el tratamiento de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos, ya que se tiene un mayor control de los parámetros del proceso tales como la temperatura, contenido de humedad, composición de nutrientes, pH, cantidad de gas y tiempo de retención, lo que conlleva a que la degradación sea más rápida y completa con la mínima contaminación de los alrededores (Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U., 2013)

Existen dos modalidades básicas de disposición del recipiente: Vertical (o continuo/estático) y horizontal (o discontinuo/dinámico).

La disposición vertical es aquella en la que el recipiente descansa sobre su base. El material fresco es añadido por la parte superior, mientras que el material compostado se extrae usualmente por la parte inferior. El proceso se da de forma continua debido a que la entrada del material se da de forma continua al igual que la salida del producto compostado por la parte inferior. Las ventajas de este tipo de sistema son: su facilidad para manipular, su bajo costo, adecuado para áreas

pequeñas y que se tiene mejor control de lixiviados (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

La disposición horizontal es aquella en la que el recipiente descansa sobre su eje longitudinal, el proceso se da de forma discontinua debido a que se realiza "por cargas", es decir, que una vez que es cargada la compostera se debe dejar que el proceso de compostaje finalice para extraer el material antes de introducir una nueva carga. Las ventajas de este sistema es que tiene una mejor distribución de la humedad y de la compactación debido a su facilidad para el volteo, lo que nos permite la obtención de un producto homogéneo (Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A., 2013).

6.15 Aprovechamiento de residuos inorgánicos

Los residuos inorgánicos representan el 31.55% de la composición de Residuos Sólidos Urbanos generados en México, lo que corresponde a 37,900 ton/día (SEMARNAT, 2020). Sin embargo, a pesar de que este tipo de residuos no son biodegradables o sufren una descomposición muy lenta, no reciben la separación, el almacenamiento temporal y tratamiento adecuado para que estos puedan ser aprovechados mediante su reciclaje, ya que son mezclados con los diferentes tipos de residuos, teniendo como sitio de disposición final los tiraderos a cielo abierto o los rellenos sanitarios.

De acuerdo con la SEMARNAT (2017) los residuos inorgánicos que pueden ser aprovechados mediante su reciclaje y reutilización son el papel, plástico, metal, vidrio, madera y fibras sintéticas (tela). Se estima que el 88.55% (27.94% del 31.55%) del total de los residuos inorgánicos generados en el México puede ser aprovechado por medio de los diferentes procesos de reciclaje. En la siguiente tabla se observa la composición porcentual de los subproductos correspondientes a los residuos inorgánicos que pueden ser aprovechados (SEMARNAT, 2020).

En la tabla 2 se observa el porcentaje que corresponde a los subproductos de los residuos inorgánicos que son generados en México. Los subproductos que más se generan son plástico rígido y de película (7.66%), papel (5.07%), cartón (4.55%), vidrio transparente (3.13%) y PET (2.63%).

Tabla 2. Composición de los residuos inorgánicos generados en México.

| Subproductos | Porcentaje |
|--------------------------------------|------------|
| Cartón | 4.55% |
| Envase de cartón encerado | 1.51% |
| Fibras sintéticas | 0.34% |
| Material ferroso | 0.88% |
| Material no ferroso | 0.57% |
| Papel | 5.07% |
| PET | 2.63% |
| Plástico rígido y de película | 7.66% |
| Vidrio de color | 1.60% |
| Vidrio Transparente | 3.13% |

Fuente: SEMARNAT, (2020).

6.15.1 Separación de residuos inorgánicos desde el origen

La separación de los residuos inorgánicos consiste en que, de forma voluntaria desde la fuente generadora, los residuos con potencial de ser reciclados, reutilizados o reducidos sean clasificados en diferentes recipientes o contenedores, que faciliten su recolección diferenciada para que posteriormente estos sean ingresados a los diferentes procesos que permitan su aprovechamiento (Figueroa M, 2008). La separación en origen de los residuos inorgánicos beneficia directamente la salud pública y con la administración del gastó, ya que coopera con la reducción de la cantidad de toneladas de RSU que son depositados en los sitios de disposición final (SAM, 2003).

Para realizar la separación adecuada desde el origen de los residuos inorgánicos, estos deberán ser enjuagados y secados para ser colocados limpios en los contenedores destinados para el tipo de residuo correspondiente. El enjuague garantiza que los residuos sean revalorizados, además de evitar que se produzcan olores y atraigan insectos o roedores durante su almacenamiento temporal (SAM, 2003).

De acuerdo con las categorías de “residuos inorgánicos susceptibles al aprovechamiento” establecida por la SEMARNAT (2017), estos se clasifican en:

- ❖ Papel
- ❖ Plástico
- ❖ Metal
- ❖ Vidrio
- ❖ Tela (Fibras sintéticas)

6.15.2 Almacenamiento temporal apropiado para los residuos inorgánicos

Tras la separación categorizada de los residuos inorgánicos susceptibles al aprovechamiento, estos deben ser almacenados temporalmente debido a que los sitios que reciben y/o compran este tipo de residuos no suelen realizar su recolección con frecuencia, además de que su venta es mejor pagada en grandes cantidades (Ruíz A., 2005).

Para realizar un almacenamiento temporal adecuado se recomienda acondicionar el lugar en función del volumen de los residuos inorgánicos susceptibles al aprovechamiento, además de que el sitio esté acondicionado con un techo. Mientras que para los contenedores utilizados para el almacenamiento temporal se recomienda que contengan tapa para evitar la entrada de plagas, sean de un material resistente a la humedad y de fácil manejo y manipulación para su limpieza o transporte (Ruíz A., 2005).



Figura 7. Recipientes adecuados para el almacenamiento temporal de los residuos. Fuente: dreamstime

6.15.3 Venta de los residuos inorgánicos

Al hablar de valorización económica, se hace referencia a que la mayor parte de los residuos inorgánicos que se tiran en los basureros oficiales o clandestinos tiene un valor económico. Grandes cantidades de aluminio, papel, cobre, plásticos y textiles, entre otros, van a parar a esos sitios, perdiéndose así la posibilidad de reinsertarlos en el flujo económico. La pérdida económica se agrava si se considera que este comportamiento hacia los residuos impacta negativamente en la valoración

económica del medio ambiente y el sistema de salud pública (Ibáñez Julio R., Corroccoli Mario D., 2002).

La venta de los residuos inorgánicos nos brinda la posibilidad de obtener un beneficio económico de los materiales que considerábamos como desecho al no encontrarle utilidad, además de que se obtienen algunos beneficios ambientales como (CFE, 2002):

- La reducción de la cantidad de RSU que llegan a los sitios de disposición final
- El ahorro de energía y disminución de la contaminación causado por la manufactura de productos a partir de materia prima virgen
- La conservación de recursos naturales como agua, madera y minerales

6.16 Contaminación ambiental provocada por los RSU

El realizar una gestión inadecuada de los Residuos Sólidos Urbanos y tener sitios de disposición final que no cumplan con las condiciones establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, provoca grandes problemas en el medio ambiente, dentro de los principales se encuentran (SEMARNAT, 2016):

- Generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los sitios de confinamiento o de disposición final de los RSU son importantes generadores de gases de efecto invernadero (GEI) ya que la mezcla de estos produce biogás. Entre estos gases destacan el bióxido y monóxido de carbono (CO_2 y CO , respectivamente), metano (CH_4), ácido sulfhídrico (H_2S) y compuestos orgánicos volátiles (COVs, como la acetona, benceno, estireno, tolueno y tricloroetileno). Estos gases generan diversos problemas ambientales como olores desagradables y contribuyen de forma directa al aumento de la temperatura global (SEMARNAT, 2016).

- Adelgazamiento de la capa de ozono

Las sustancias agotadoras del ozono (SAO) que se emplean en la fabricación de envases de unicel, como propulsores de aerosoles para el cabello, en algunas pinturas y desodorantes, plaguicidas, así como en refrigeradores y climas artificiales contribuyen al ser liberadas a la atmosfera, al adelgazamiento de la capa de ozono, cuando los envases de estos productos son desechados de manera inadecuada se convierten en fuentes de emisión de SAO (SEMARNAT, 2016)

- Contaminación de los suelos y cuerpos de agua

La descomposición de los residuos y su contacto con el agua puede generar lixiviados (es decir líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales) que contienen, en forma disuelta o en suspensión, sustancias que se infiltran en los suelos o escurren fuera del sitio de disposición final. Los lixiviados pueden contaminar lo suelos y los cuerpos de agua presentando problemas de toxicidad, eutrofización y acidificación, representando un riesgo para la salud humana y de los demás organismos (SEMARNAT, 2016).

- Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades

Los residuos orgánicos que se disponen atraen a un numeroso grupo de especies de insectos, aves, y mamíferos que pueden transformarse en vectores de enfermedades peligrosas como la peste bubónica, tifus murino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, dengue y fiebre amarilla, entre otras (SEMARNAT, 2016).

6.17 Educación ambiental

Educar como proceso permite la construcción, la reconstrucción y la reflexión de conocimientos, conductas de valores y el desarrollo de las capacidades individuales y colectivas. La educación como mecanismos de adaptación cultural del ser humano al ambiente se ha mostrado poco crítica con respecto a las actividades y comportamientos ambientales, por lo que es necesario redimensionarla, por medio del impulso de acciones formativas dirigidas al cambio actitudinal y la modificación del comportamiento colectivo (Casillo Martínez R., 2010).

La educación ambiental es el proceso que promueve la toma de conciencia y la evolución del medio social y el medio físico en su totalidad, incluyendo sus recursos naturales, culturales y espirituales. Predica el uso de la conservación racional y sostenible de esos recursos para garantizar la supervivencia de la humanidad en armonía con la naturaleza (Unesco, 1977).

Se considera a la educación ambiental como una herramienta que puede ser aplicada en diferentes ámbitos de las ciencias ambientales, por lo que es fundamental a la hora de afrontar un trabajo como el manejo adecuado de los RSU, debido a que no es una cuestión de entendimiento del problema sino de involucrarse en él, generando un proceso de aprendizaje que permita la participación e innovación que nos lleve a realizar proyectos exitosos (Escobar López, 2014). En la magna Conferencia sobre Educación Ambiental de la UNESCO de 1980, se plantearon los objetivos de la educación ambiental, los cuales son los siguientes:

- Consiste en que el ser humano comprenda la naturaleza compleja del medio ambiente resultante de la interacción de sus aspectos biológicos, físicos, sociales y culturales.
- Percibir claramente la importancia del medio ambiente en las actividades de desarrollo económico, social y cultural.
- Mostrar la interdependencias económicas, políticas y ecológicas del mundo moderno en el que las decisiones y comportamientos de todos los países pueden tener consecuencias de alcance internacional.
- Comprender las relaciones entre los diferentes factores físicos, biológicos y socioeconómicos del medio ambiente, así como su evolución en el tiempo y su modificación en el espacio.

El contenido, los métodos y materiales específicos de la educación ambiental deben adaptarse a las necesidades de los educados. Debe establecerse una clara distinción entre el papel de la educación formal y el de la no formal con objeto de desarrollar una conciencia y comprensión cada vez mayor de los problemas ambientales por parte de la sociedad (UNESCO, 1977). Debido a esto es indispensable el desarrollo de métodos basados en el aprendizaje social, la responsabilidad, la participación y la experimentación (EFA ORETANA, 2010)

En la actualidad el concepto de educación ambiental se ha expandido hacia términos de la sostenibilidad, por lo que aparece una nueva idea, el desarrollo sostenible, que es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, de esta forma los ciudadanos se comprometen para actuar y decidir en cuestiones que afectan a sus propias vidas (Llorca Navasquillo F., Gómez García J. A., Mansergas López F. J., 2015).

7. Metodología

La metodología empleada en este proyecto de tesis tiene un enfoque cuantitativo para el sustento de la información recabada, ampliar la visión del fenómeno de estudio respecto al aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos y permitir obtener la información necesaria para alcanzar el cumplimiento de los objetivos propuestos.

7.1 Estudio de generación de residuos

El método utilizado para el estudio de generación de residuos sólidos municipales en la cabecera municipal de Xicotepec, Puebla, está basado en una adaptación realizada al señalado en la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, el cual utiliza un muestreo estadístico aleatorio en campo con duración de ocho días, en el que a partir de la información obtenida nos permite conocer la generación per-cápita de los residuos sólidos domésticos expresados en kg/hab/día.

Para poder realizar el estudio de generación de residuos se contó con el apoyo voluntario de la población habitante de la cabecera municipal con un total de 14 puntos de muestreo distribuidos en el pueblo de Xicotepec como se muestra en la figura 8. A causa de la pandemia del virus Covid-19, la capacitación realizada a la población fue brindada a través de un video, en el cual se les especificaba la finalidad del proyecto y los pasos que debían seguir durante el desarrollo.

Respecto del procedimiento para realizar el estudio de generación de residuos se consideran los siguientes pasos:

Paso 1. Determinar y ubicar el universo de muestreo a través de un mapa actualizado de la zona de estudio.

Paso 2. Identificar en orden progresivo los puntos de muestreo del universo de trabajo tanto en la cartografía como físicamente en el sitio.

Paso 3. Capacitar a los habitantes de las casas participantes en el proyecto sobre la razón del muestreo, la información general del estudio y los pasos que deben seguir durante el estudio.

Paso 4. Los habitantes de las casas participantes deberán recolectar en una bolsa los residuos generados durante el día (residuos de preparación de alimentos).

Paso 5. Al siguiente día, se recogerán las bolsas que contienen los residuos para ser pesadas.

Paso 6. Después de pesar la bolsa con los residuos, se deberán registrar en un base de datos lo obtenido del pesado de cada una de las bolsas.

Paso 7. Los pasos 5, 6 y 7 se deberán repetir durante ocho días, de acuerdo con las fechas establecidas en el diseño de muestreo del proyecto.

Paso 8. Calcular la generación per-cápita de residuos sólidos urbanos.

Se visitó diariamente los puntos de muestreo durante las fechas establecidas. Los residuos generados en las casas habitación eran entregados por sus habitantes en bolsas o contenedores de plástico para su posterior pesado en báscula. Se les recomendó a los participantes del proyecto que mantuvieran los contenedores de residuos en lugares techados a manera de precaución debido a que durante la semana del desarrollo del estudio se presentaron fuertes precipitaciones las cuales al estar en contacto con las muestras podrían afectar el peso al momento de realizar las mediciones. El realizar las mediciones de la manera más exacta posible aumentaría la precisión de los resultados generados en el estudio.

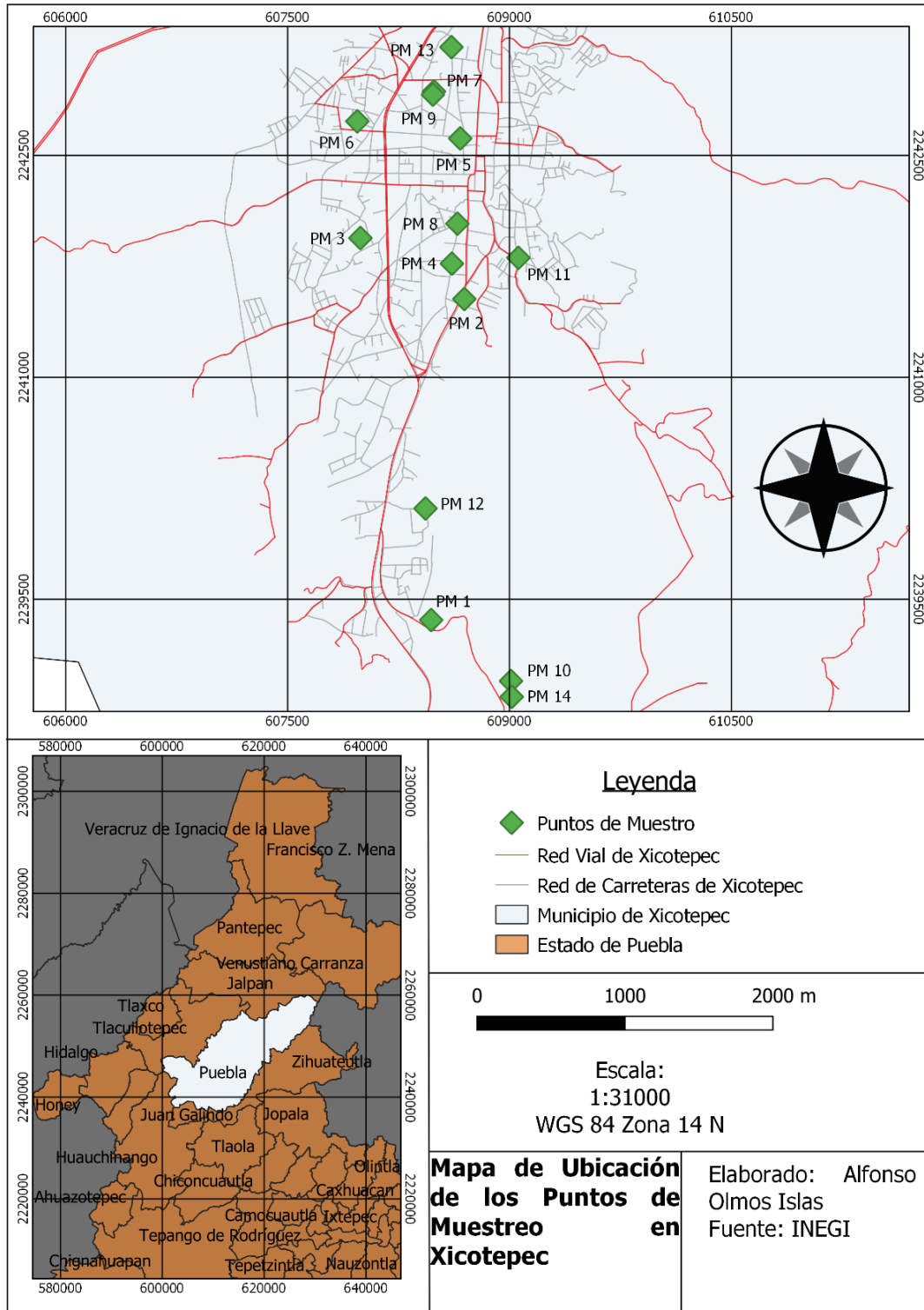


Figura 8. Mapa de ubicación geográfica de los puntos de muestro en la cabecera municipal de Xicotepec. Fuente: Autoría propia

7.2 Caracterización de RSU

El método utilizado fue la selección y cuantificación de subproductos contenidos en los residuos sólidos municipales de la cabecera municipal de Xicotepec de Juárez está basado en la Norma Mexicana NMX-AA-022-1985. Este método se trabajó a la par del estudio de generación de residuos ya que como muestra se utilizaron las bolsas con residuos generadas diarias en los puntos de muestreo participantes en el proyecto señaladas en el punto anterior.

El procedimiento que se debe seguir para realizar la selección y cuantificación de productos es descrito a continuación:

Paso 1. A partir de las muestras obtenidas con peso total conocido, seleccionar los subproductos de acuerdo con la clasificación mencionada en la Norma Mexicana NMX-AA-022-1985, y colocarlos dentro de bolsas de poliestireno.

Paso 2. Los subproductos clasificados y divididos en bolsas son pesados en la balanza granataria y los resultados obtenidos son anotados en las hojas de registro.

Paso 3. Se calcula el porcentaje en peso de cada uno de los subproductos, a partir de la siguiente formula:

$$Ps = \left(\frac{G1}{G} \right) * 100$$

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

G1 = Peso del subproducto considerado, en Kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 Kg.)

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes deberá ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra ocupada.

7.3 Aprovechamiento de residuos orgánicos

Se capacitó a las familias de los catorce puntos de muestreo que participaron de forma voluntaria en los estudios de generación y caracterización de Residuos Sólidos Urbanos en la cabecera municipal de Xicotepec, acerca de cómo elaborar una composta en casa y del cuidado que se le debe dar durante el proceso de compostaje, con la finalidad de que puedan aprovechar sus residuos orgánicos y ayudar a disminuir la cantidad de RSU que son depositados en el sitio de disposición.

El procedimiento para la elaboración de composta fue enseñado a los participantes por medio de un video educativo, esto debido a la pandemia provocada por el virus de Covid-19, para evitar exponer al contacto físico a los participantes.

El proceso de elaboración de composta casera descrito a continuación se encuentra basado en los distintos manuales de elaboración de composta, elaborados por instituciones como SAGARPA, UNAM, BUAP y El Ministerio Español del Medio Ambiente.

Procedimiento de elaboración de composta casera

Paso 1. Recolectar los residuos orgánicos generados en la casa habitación.

Paso 2. Recolectar pasto, hojarasca, tierra y heces fecales de animales (opcional)

Paso 3. Conseguir tela de mosquitero y un recipiente con tapa (bote) en el cual se deberán hacer pequeños orificios a los costados, en la base y parte superior.

Paso 4. Cortar la tela del mosquitero y colocarla dentro del recipiente de forma que este sea cubierto por completo.

Paso 5. Colocar capas dentro del recipiente

- Primera capa. Se colocan 10 cm de hojarasca
- Segunda capa. Se agregan 10 cm de tierra o suelo seco, y se humedece
- Tercera capa. Se agregan 5 cm de residuos orgánicos generados en la casa habitación
- Cuarta capa. Se agrega una capa de 10 cm de pasto y se humedece la composta.
- Quinta capa. Se agrega una capa de 10 cm de tierra o suelo seco y se humedece.

Paso 6. Después de agregar la última capa se debe tapar el recipiente.

Paso 7. La composta deberá ser colocada en un sitio donde la lluvia no la afecte y se deberá humedecer al menos dos veces por semana.

Paso 8. Después de cuatro semanas se deberá voltear y homogeneizar el material.

Paso 9. Después de dos meses y medio el humus se encuentra listo para ser usado en macetas, jardín y huertos.

Sin embargo, a pesar de haber capacitado a los catorce puntos de muestreo participantes para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en su hogar, en solo tres puntos de muestreo (1,5 y 10) se tuvo el interés y disposición de poner en práctica lo aprendido en la capacitación y llevar a cabo la realización de las compostas.

7.4 Separación y almacenamiento temporal de los residuos inorgánicos

El método de almacenamiento temporal de los residuos sólidos inorgánicos generados en los puntos de trabajo ubicados en la cabecera municipal de Xicotepec de Juárez busca crear conciencia en los habitantes acerca de la importancia que tiene la valorización y el reciclaje de los materiales susceptibles de serlo. A continuación, se describen los pasos a seguir para llevar a cabo la separación y el almacenamiento temporal adecuado de los residuos inorgánicos.

Paso 1. Seleccionar un sitio disponible dentro de la casa habitación para ubicar los contenedores en los que los residuos inorgánicos serán depositados.

Paso 2. Colocar los contenedores de almacenamiento de residuos inorgánicos en los sitios seleccionados, de los que se recomienda tengan las siguientes características:

- ❖ Contar con capacidad suficiente para los residuos generados
- ❖ El recipiente debe tener tapa para evitar malos olores e ingreso de fauna nociva
- ❖ Debe ser de material resistente (plástico, aluminio o acero inoxidable) a agentes externos como la humedad
- ❖ Debe ser de fácil manejo para su limpieza y mantenimiento

Paso 3. Seleccionar los residuos inorgánicos generados en la casa habitación que tengan la capacidad de ser reciclados

Paso 4. Clasificar los residuos inorgánicos generados en la casa habitación por subproducto de acuerdo con la SEMARNAT:

- ❖ Papel
- ❖ Plástico
- ❖ Metal
- ❖ Vidrio
- ❖ Tetrapak
- ❖ Cartón

Paso 5. Una vez llenos los contenedores temporales con residuos susceptibles de ser reciclados, éstos deberán ser llevados a sitios donde se compren dichos materiales para su venta.

8 Resultados y discusión

8.1 Generación de RSU

De los resultados del Estudio de Generación de RSU realizado, se obtuvo que se produjeron un total de 108.594 Kg de RSU durante los días que duró el estudio, de los cuales en promedio se generan 0.970 kg/día por casa habitación participante. La mayor cantidad generada de residuos sólidos urbanos corresponde al punto de muestreo 3 en el que se tuvieron 14.700 Kg, mientras que la menor cantidad se dio en el punto de muestreo 13, al generar solo 3.259 Kg de residuos

En la Tabla 3 se muestran los datos obtenidos durante el Estudio de Generación de Residuos Sólidos Urbanos, en la que se observa la cantidad en Kg de RSU que se generan durante cada día en los catorce puntos de muestreo y la cantidad total en Kg de RSU generados al final de estudio.

Tabla 3. Cantidad de RSU en Kg generados por punto de muestreo

| Punto de muestreo (PM) | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 | Total de residuos por PM (Kg) |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|
| 1 | 1.306 | 1.453 | 1.704 | 0.759 | 1.020 | 0.780 | 0.720 | 0.401 | 8.143 |
| 2 | 0.156 | 0.500 | 0.650 | 0.532 | 0.460 | 0.342 | 0.675 | 0.800 | 4.115 |
| 3 | 2.000 | 1.000 | 1.500 | 2.300 | 2.500 | 1.900 | 2.000 | 1,500 | 14.700 |
| 4 | 1.000 | 1.350 | 0.700 | 0.500 | 0.630 | 1.210 | 1.205 | 0.320 | 6.915 |
| 5 | 0.663 | 2.240 | 0.568 | 0.145 | 1.454 | 1.061 | 0.304 | 0.961 | 7.396 |
| 6 | 3.270 | 0.915 | 1.285 | 1.339 | 0.228 | 0.763 | 2.202 | 0.558 | 10.560 |
| 7 | 1.228 | 0.623 | 0.477 | 0.317 | 0.564 | 0.943 | 0.424 | 1.121 | 5.697 |
| 8 | 2.800 | 1.800 | 1.600 | 1.300 | 1.200 | 1.100 | 0.800 | 1.200 | 11.800 |
| 9 | 1.720 | 0.756 | 0.971 | 0.448 | 0.916 | 0.640 | 1.555 | 0.278 | 7.284 |
| 10 | 1.238 | 0.401 | 1.591 | 0.681 | 0.232 | 0.363 | 1.095 | 0.209 | 5.810 |
| 11 | 3.050 | 3.120 | 0.627 | 1.106 | 0.862 | 0.953 | 0.104 | 1.711 | 11.533 |
| 12 | 0.815 | 1.717 | 1.051 | 1.556 | 0.825 | 0.190 | 0.505 | 0.708 | 7.367 |
| 13 | 0.530 | 0.147 | 0.429 | 0.728 | 0.707 | 0.285 | 0.152 | 0.070 | 3.259 |
| 14 | 0.328 | 0.814 | 0.504 | 0.076 | 0.297 | 0.977 | 0.070 | 0.949 | 4.015 |

Fuente: Autoría propia.

En la figura 9, se muestra el promedio de la cantidad total en Kg de residuos generado por punto de muestreo (PM), en donde se presenta el promedio de generación más bajo en el punto de muestreo trece (PM 13), equivalente a 0.407 kg/día de RSU, lo cual se debe a que dos de los cuatro habitantes de este sitio ya que la mayor parte de sus actividades las realizan fuera del hogar, mientras que en el punto de muestreo tres (PM 3) se tuvo el mayor promedio de generación RSU

con 1.838 kg/día, esto a causa del tipo de actividades que se realizan en el hogar, ya que a pesar de que sólo habitan tres personas pero su actividad se relaciona con la venta al público de comida y de pan por pedido, lo que aumenta directamente la generación de sus residuos.

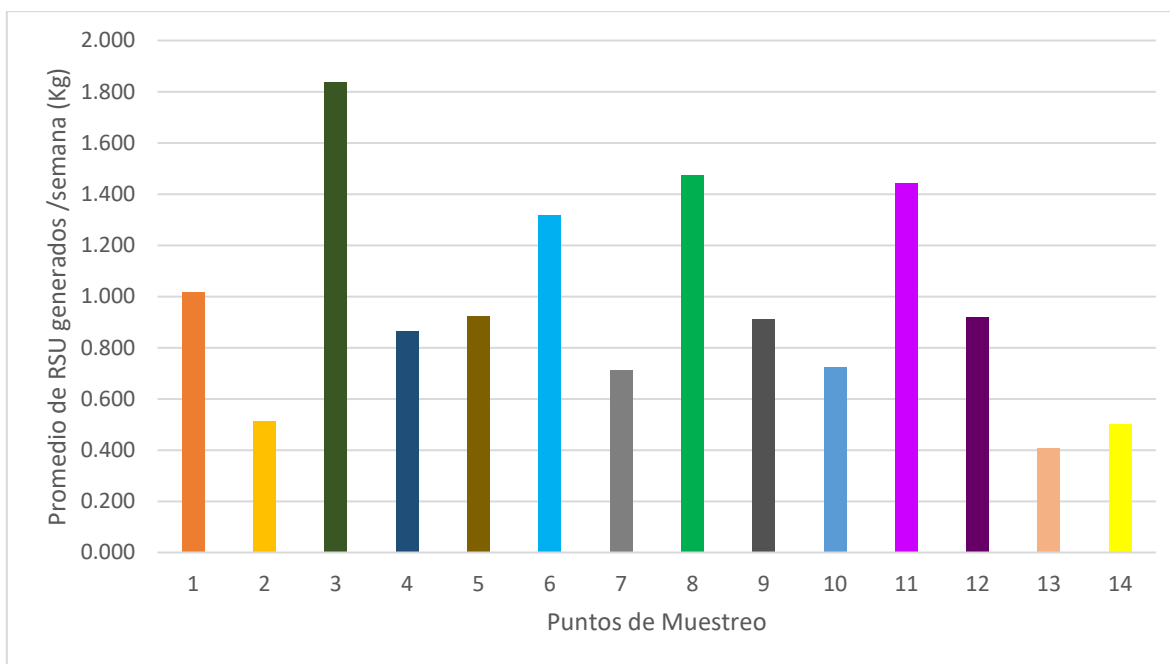


Figura 9. Promedio de RSU generados por punto de muestreo durante el estudio de generación por día. Fuente: Autoría propia.

En la figura 10, se muestra la variabilidad de los datos obtenidos de acuerdo con el promedio de RSU generados en los catorce puntos de muestreo durante el estudio de generación. En la gráfica se observa que los puntos de muestreo 6 y 11 tienen el valor más elevado, siendo mayor que la desviación estándar poblacional, lo que significa que la cantidad de residuos generados en estos sitios varío conforme a las actividades realizadas en el hogar, las cuales se vieron afectadas con los días de suspensión laboral, permitiendo que se pudiera salir de casa y realizar visitas a familiares. El promedio de generación de residuos de los puntos de muestreo 1,3, 6, 8 y 11 excede a la cantidad promedio generada por los catorce puntos de muestreo, lo que significa que en los sitios de muestreo no existen hábitos de consumo conscientes por lo que no hay un control sobre las cantidades de residuos que se generan, lo cual hace visible la necesidad y punto de oportunidad acerca de las acciones que ayuden a disminuir estas cantidades, que son enviadas al sitio de disposición final sin ser aprovechados, ni recibir algún tratamiento.

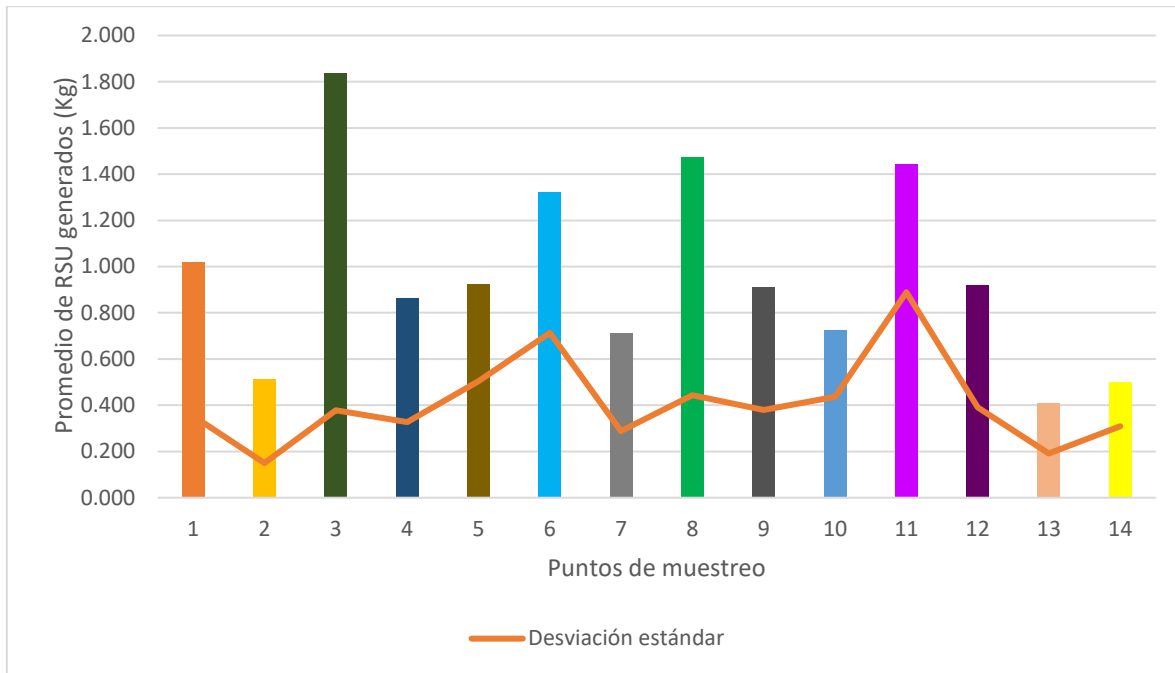


Figura 10. Promedio de RSU generados (Kg) por punto de muestro durante el estudio de generación vs desviación estándar. Fuente: Autoría propia.

En la figura 11, se muestran los datos de las cantidades de residuos generados en kilogramos (Kg) conforme al día respectivo en que se realizó el muestreo, el estudio se realizó del lunes 13 de septiembre del 2021 al lunes 20 de septiembre 2021, por lo que la cantidad máxima generada de residuos por día puede deberse a que las familias desarrollan la mayor parte de sus actividades en su hogar o involucran la participación de personas adicionales a los integrantes de la familia, mientras que el promedio mínimo generado de residuos por día, se relaciona por la ausencia de los pobladores en sus hogares debido a sus actividades diarias o visitas familiares.

En esta gráfica se observa que en el día 1 (lunes 13 de septiembre del 2021 se produjo la mayor cantidad de residuos en comparación con los demás días, lo cual se debe a que las personas realizaron la mayor parte de sus actividades en su casa y el fin de semana recibieron visitas de familiares, mientras que el día 2 (martes 14 de septiembre del 2021) y el día 3 (miércoles 15 de septiembre del 2021 en los que también se generó una cantidad de residuos por encima del promedio) (13.574 Kg al día). A partir del día 4 (jueves 16 de septiembre) hasta el día 8 (jueves 20 de septiembre) la generación de residuos disminuyó considerablemente a cantidades por debajo del promedio, esto se debe a que en los días 4 y 5 se dio la suspensión

de labores a nivel nacional y seguido a esto se da fin de semana, provoco que los habitantes de los puntos de muestreo disminuyeran las actividades que realizan dentro del hogar y las reuniones para celebrar las fiestas patrias se llevaran a cabo en otros sitios.

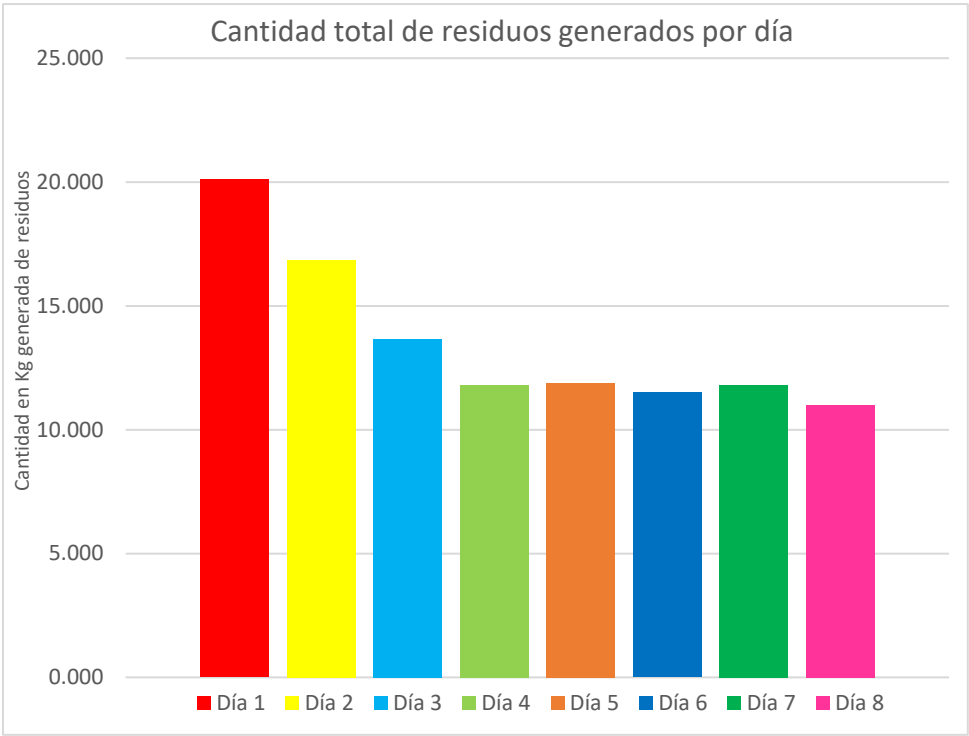


Figura 11. Generación de RSU en Kg por día de muestreo. Fuente: Autoría propia.

En la figura 12, se ilustra la ubicación geográfica de los puntos de muestreo y las gráficas que hacen referencia a la cantidad en Kg de residuos sólidos urbanos que se generan en estos puntos. Se observa que la ubicación geográfica de los puntos de muestro no tiene injerencia en la generación de los residuos, debido a que los puntos se encuentran distribuidos por toda la cabecera y no existe un patrón de generación por zonas, por lo tanto, los datos de la generación varían de acuerdo con las actividades que desarrollen en su día a día los habitantes de los puntos de muestreo.

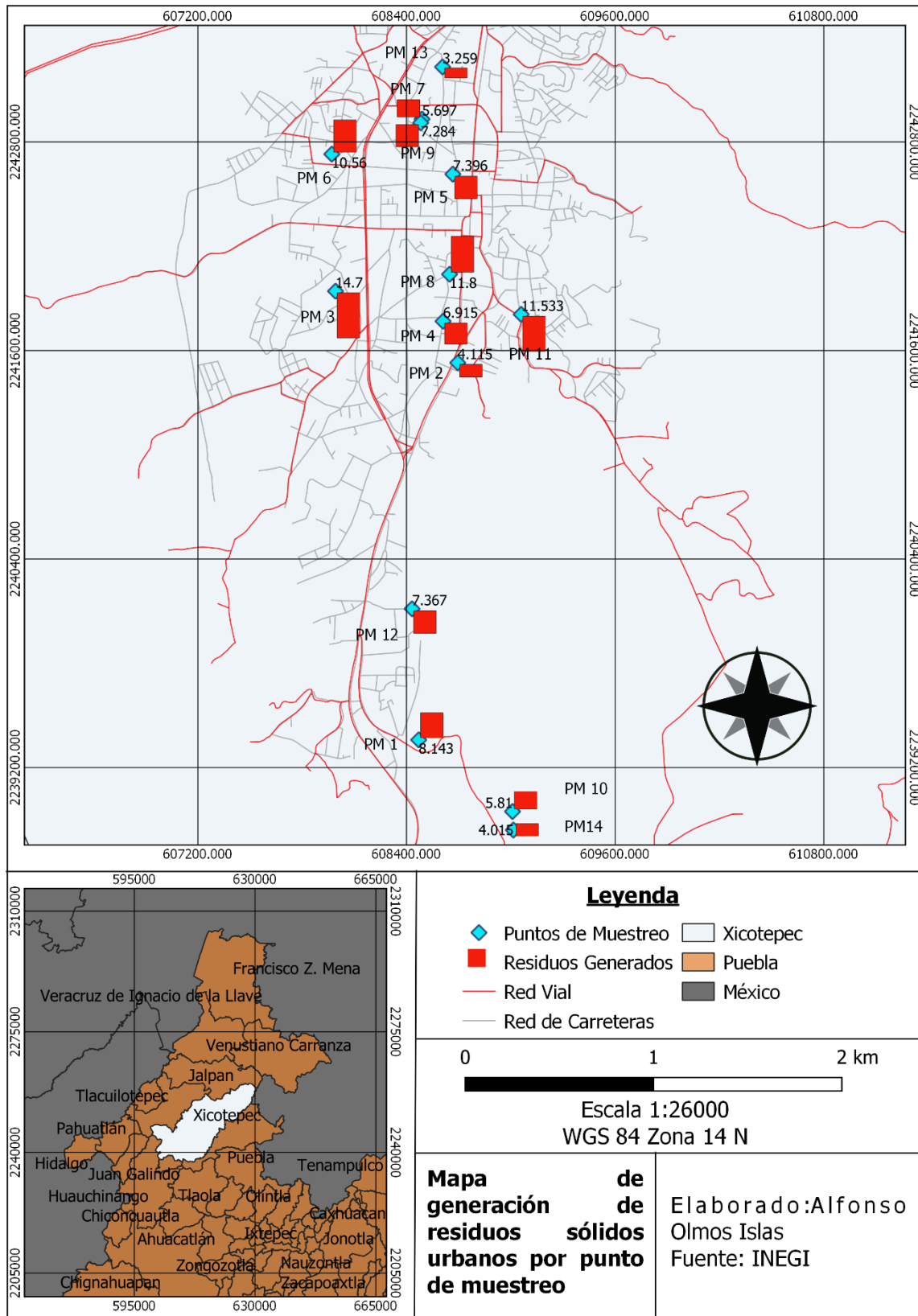


Figura 12. Cantidad en Kg de RSU generados por punto de muestreo. Fuente: Autoría propia.

8.2 Cálculo de la generación per-cápita

El cálculo de la generación per-cápita se realizó a partir de los datos obtenidos del Estudio de Generación de RSU, el cual fue llevado a cabo en los catorce puntos de muestreo distribuidos en la cabecera municipal de Xicotepec, contando con la participación de 59 habitantes, en el que se determinó como resultado la generación de 0.252 kg/día/hab de RSU.

Con respecto al resultado obtenido del cálculo de generación per-cápita a partir del estudio de generación de RSU en Xicotepec, se determina que el valor que se obtuvo se encuentra muy por debajo de lo esperado de acuerdo con lo reportado por Semarnat (2020) con 0.653 Kg/hab/día a nivel nacional y el PPGIREP (2017) con una generación de 0.568 Kg/hab/día en el municipio de Xicotepec.

En la Tabla 4 (Generación Per-Cápita Kg/hab/día en Xicotepec) se presentan los datos del estudio de generación per-cápita por punto de muestreo.

Tabla 4. Generación Per-Cápita (Kg/hab/día) por punto de muestreo en Xicotepec.

| Generación per-cápita (kg/hab/día) | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Punto de muestreo</i> | Generación promedio Per-Cápita |
| 1 | 0.339 |
| 2 | 0.073 |
| 3 | 0.612 |
| 4 | 0.216 |
| 5 | 0.231 |
| 6 | 0.440 |
| 7 | 0.142 |
| 8 | 0.368 |
| 9 | 0.227 |
| 10 | 0.181 |
| 11 | 0.205 |
| 12 | 0.230 |
| 13 | 0.101 |
| 14 | 0.167 |

Fuente: Autoría propia.

8.3 Subproductos de los RSU generados

La caracterización arrojó la generación de los siguientes tipos de residuos: algodón, cartón, envase de cartón encerado, fibras sintéticas, latas, loza y cerámica, material no ferroso, papel, plástico película, plástico rígido, poliestireno expandido, vidrio de color, vidrio transparente, madera, residuos alimenticios, residuos de jardinería, entre otros.

En la Tabla 5 (Composición en Kg y Porcentual de los RSU generados en Xicotepec), se presentan los datos de las cantidades y el porcentaje correspondiente a los diferentes tipos de residuos obtenidos durante el estudio de caracterización de los RSU.

Tabla 5. Composición en Kg y porcentual de los RSU generados en Xicotepec.

| Tipos de residuos | Subproductos | Peso (Kg) | % en peso |
|--------------------------------|---------------------------|----------------|-------------|
| Residuos Inorgánicos | Algodón | 0.012 | 0.01 |
| | Cartón | 7.813 | 7.19 |
| | Envase de cartón encerado | 0.226 | 0.21 |
| | Fibras sintéticas | 0.094 | 0.09 |
| | Lata | 2.312 | 2.13 |
| | Loza y cerámica | 1.288 | 1.19 |
| | Material no ferroso | 0.229 | 0.21 |
| | Papel | 7.419 | 6.83 |
| | Plástico película | 6.824 | 6.28 |
| | Plástico rígido | 8.96772 | 8.26 |
| | Poliestireno expandido | 1.7812 | 1.64 |
| | Vidrio de color | 0.767 | 0.71 |
| | Vidrio Transparente | 1.025 | 0.94 |
| Residuos Orgánicos | Residuos Alimenticios | 69.534 | 64.03 |
| | Residuos de Jardinería | 0.265 | 0.24 |
| | Madera | 0.01912 | 0.02 |
| Otros tipos de residuos | Otros | 0.018 | 0.02 |
| | Total | 108.594 | 100% |

Fuente: Autoría propia.

En la Figura 13, se observan los porcentajes correspondientes a las cantidades de los tipos de Residuos Sólidos Urbanos generados durante el estudio de caracterización. Donde los tipos de residuos mayoritariamente generados son los residuos alimenticios (64.03%), plástico rígido (8.25%), cartón (7.19%), papel (6.83%) y plástico película (6.28%), en menor cantidad se generaron latas (2.12%), poliestireno expandido (1.64%) y loza y cerámica (1.18%). Además, se presentaron algunos residuos en porcentajes mínimos como el algodón (0.01%), envase de cartón encerado (0.20%), fibras sintéticas (0.08%), material no ferroso (0.21%), vidrio de color (0.70%), vidrio transparente (0.94%), madera (0.01%), residuos de jardinería (0.24%) y otros tipos de residuos como las pilas alcalinas (0.01%) las cuales se consideran como residuos peligrosos, por lo que no deberían ser depositadas en el sitio de disposición final sin tratamiento previo, ya que podría causar graves problemas de contaminación.

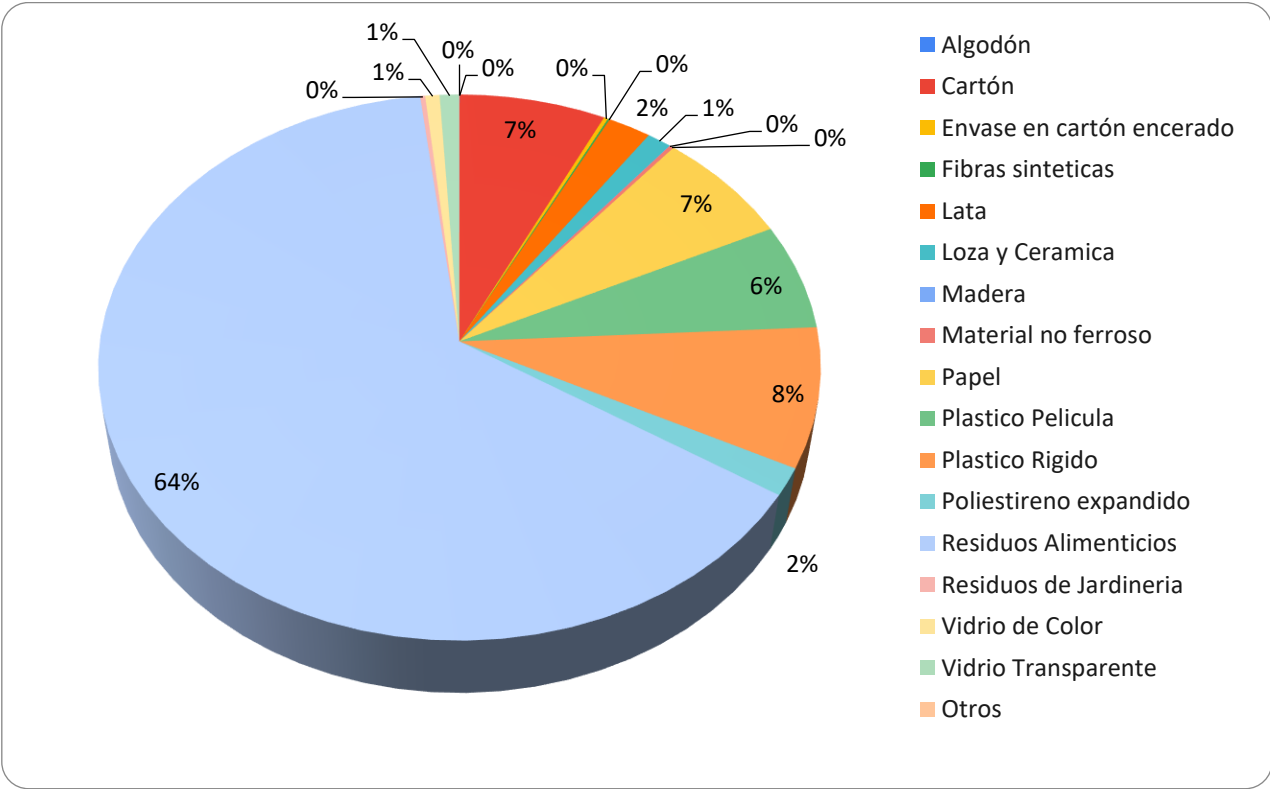


Figura 13. Porcentaje de los subproductos de RSU generados en Xicotepec. Fuente: Autoría propia

En la figura 14, se ilustran los porcentajes de los Residuos Sólidos Urbanos generados de acuerdo con su clasificación en Residuos Orgánicos e Inorgánicos establecidos en el artículo 18 de la Ley General para la Prevención y Gestión

Integral de Residuos, además del porcentaje obtenido de otros tipos de residuos que no pueden ser determinados como RSU, ya que cuentan con diferentes características.

El tipo de residuo que más se genera en la cabecera municipal de Xicotepec son los orgánicos con un 64.29% (69.812 Kg) del total de RSU generados (108.859 Kg), mientras que el 35.69% (38.758 Kg) corresponde a los residuos inorgánicos y el 0.02% (0.018 Kg) restante a otros tipos de residuos, que no entran dentro de la clasificación anteriormente mencionada.

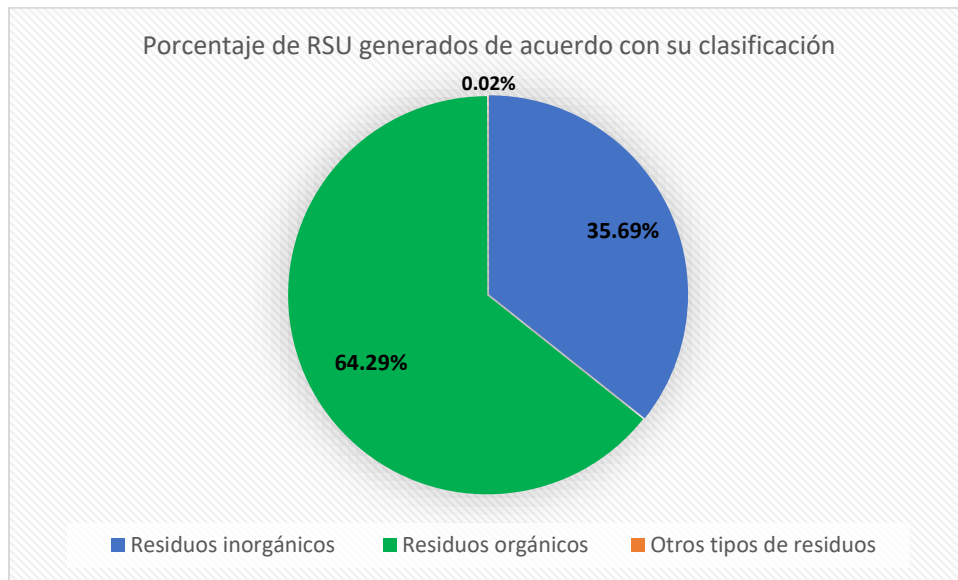


Figura 14. Porcentaje de RSU generados de acuerdo con su clasificación. Fuente: Autoría propia

En la figura 15, se ilustra la ubicación geográfica de los puntos de muestreo y los gráficos con las cantidades de residuos orgánicos e inorgánicos que se generan en los puntos participantes. Se observa que no existe un patrón de generación por zona, ya que a excepción del punto de muestreo nueve (PM9) en el cual se generó mayor cantidad de residuos inorgánicos, en el resto de los puntos de muestreo los residuos orgánicos se generaron siempre en mayor proporción.

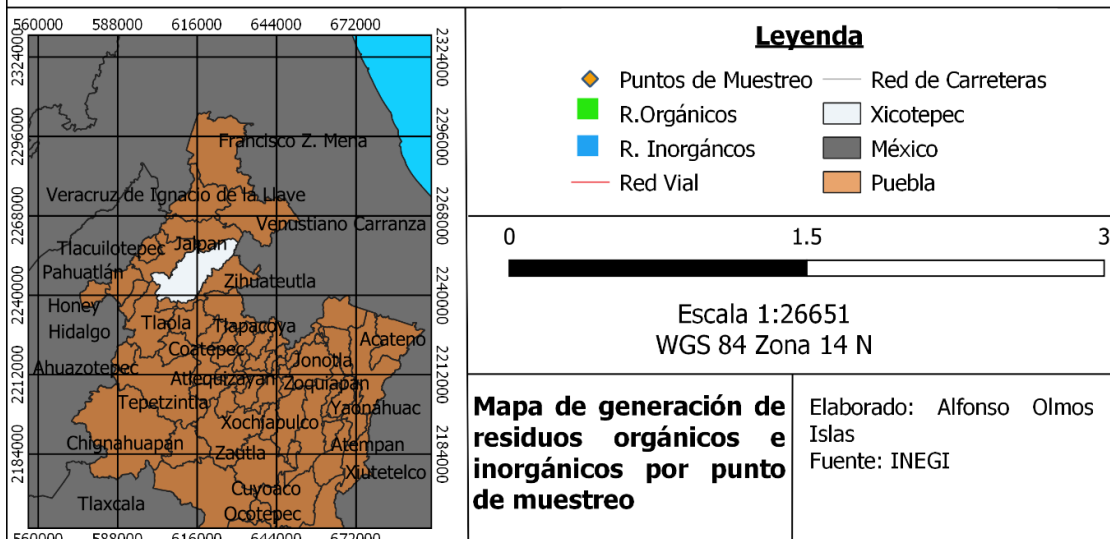
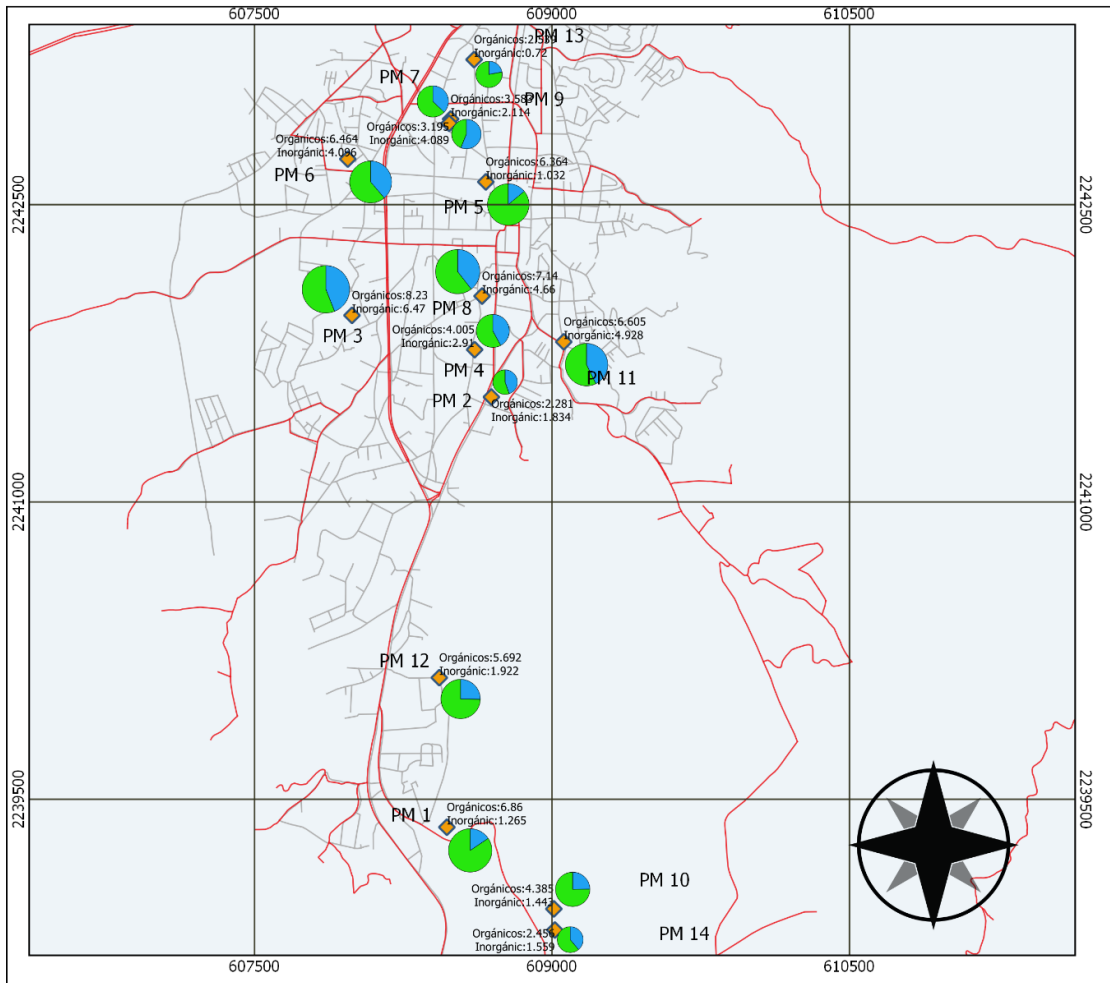


Figura 15. Generación de residuos orgánicos e inorgánicos por punto de muestreo. Fuente: Autoría propia.

8.4 RSU susceptibles de aprovechamiento

A partir del estudio realizado para conocer la caracterización de los RSU, se determinó que la mayoría del total de estos es susceptible de ser aprovechado por medio de la valorización y el compostaje, ya que el 35.69% corresponde a residuos inorgánicos y el 64.29% a los residuos orgánicos.

8.5 Valorización de los residuos orgánicos

En las Figuras 16 a la 18, se ilustran las compostas elaboradas en los puntos de muestreos 1, 5, 10 respectivamente, y fueron conformadas con residuos orgánicos generados en su hogar.



Figura 16. Composta 1 elaborada en el punto de muestreo 1. Fuente: Autoría propia.



Figura 17. Composta 2 elaborada en el punto de muestreo 5. Fuente: Autoría propia.



Figura 18. Composta 3 elaborada en el punto de muestreo 10. Fuente: Autoría propia.

En la figura 19 se muestra el equipo utilizado para realizar las mediciones de las variables de interés, éste es un medidor digital de pH, temperatura y humedad en el suelo.



Figura 19. Equipo digital de medición de pH, temperatura y humedad. Fuente: Autoría propia.

Los valores obtenidos como resultado de las mediciones de humedad tomadas en las compostas monitoreadas semanalmente se muestran en la figura 20, estos oscilan en un rango de entre 50 y 80% para las tres compostas monitoreadas. Haciéndose evidente que en la semana 7 hubo un descenso en el valor de todas las compostas, esto debido a que la temperatura media de la región llegó hasta los 17°C, esto de acuerdo con lo monitoreado en la página de CONAGUA, lo cual explica ese comportamiento en la gráfica. En términos generales, la humedad en las compostas muestra un comportamiento creciente desde la semana 1 a la 5, 5 y 6 se mantiene, presentándose un descenso de la semana 6 a la 7 como se explicó con anterioridad, para aumentar hasta la semana 8, para finalmente descender en adelante hasta la semana 10.

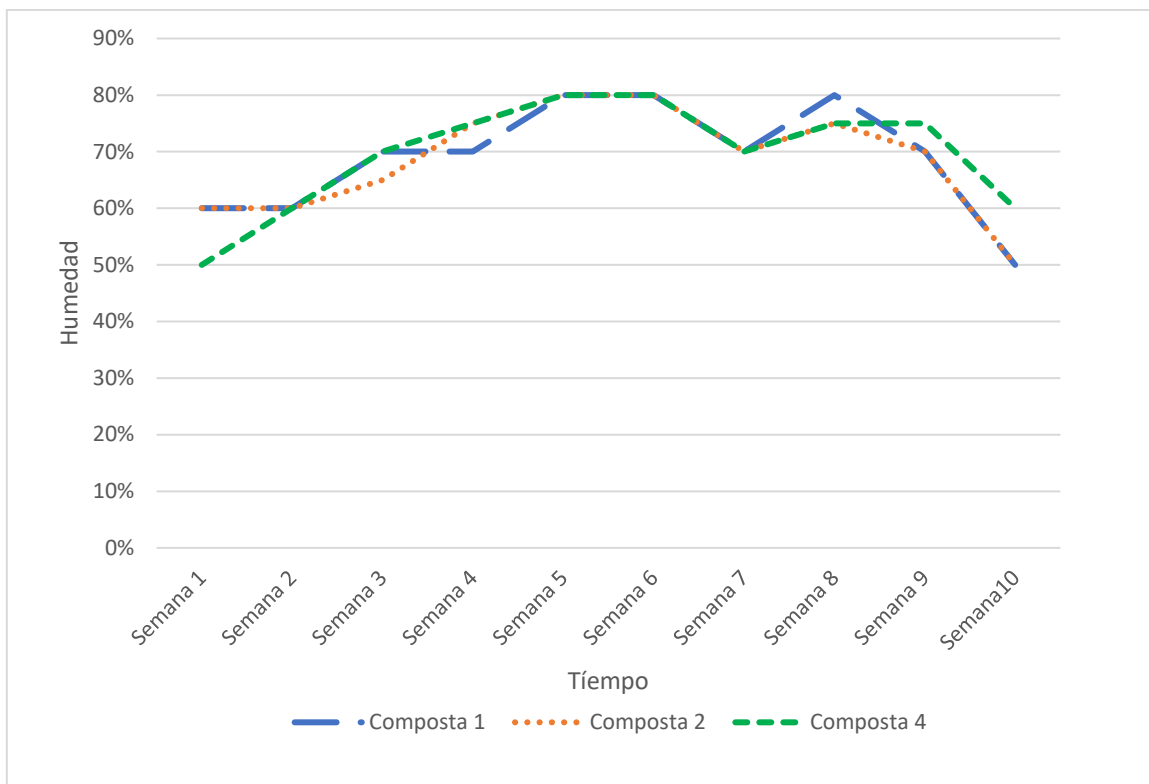


Figura 20. Valores de la humedad de las compostas monitoreadas en el experimento. Fuente: Autoría propia

En las figura 21 y 23, Azurduy S., Azero M., Ortuño N. (2016) muestran el comportamiento de la humedad y la temperatura en sus experimentos, en los que utilizaron algunos activadores orgánicos como TC (té de compost), BC (harina de hueso), LC (levadura fresca), EM (microorganismos efectivos) y estiércol de vaca en el testigo 1, mientras que en los testigos 2 y 3 no se aplicaron.

En la figura 21, se observa que de la semana 1 a la 3 existe un descenso en la humedad. A partir de la semana 4 hasta la 7 el comportamiento de los valores en la gráfica fue variable mostrando altibajos y alcanzando su valor máximo entre la semana 5 y 6, para después disminuir desde la semana 8 hasta la semana 10 alcanzando el valor mínimo.

De acuerdo con Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A. (2013) el rango de humedad óptimo para que el proceso de biodegradación de RSU se lleve a cabo oscila entre 40-60%, lo cual coincide con lo señalado por Azurduy S., Azero M., Ortuño N. (2016), sin embargo, comparado dicho valor con el rango obtenido dentro del experimento de esta tesis, este rango sobrepasa lo mencionado por ambas referencias, esto a causa de las precipitaciones pluviales presentadas durante el monitoreo en la región de estudio, que, sumada con la alta humedad relativa del

ambiente, la humedad del suelo utilizado en las compostas y su riego constante explica el incremento en la humedad presentada.

Cabe señalar que durante las primeras cinco semanas el riego se realizó dos veces por semana, pero al observarse la presencia de humedad excesiva, se decidió a partir de la semana 6 realizar el riego solo una vez por semana, lo que ayudo a disminuir este parámetro hasta un 10% en la semana 9, lográndose así que el parámetro se encontrara dentro del rango óptimo en la semana 10.

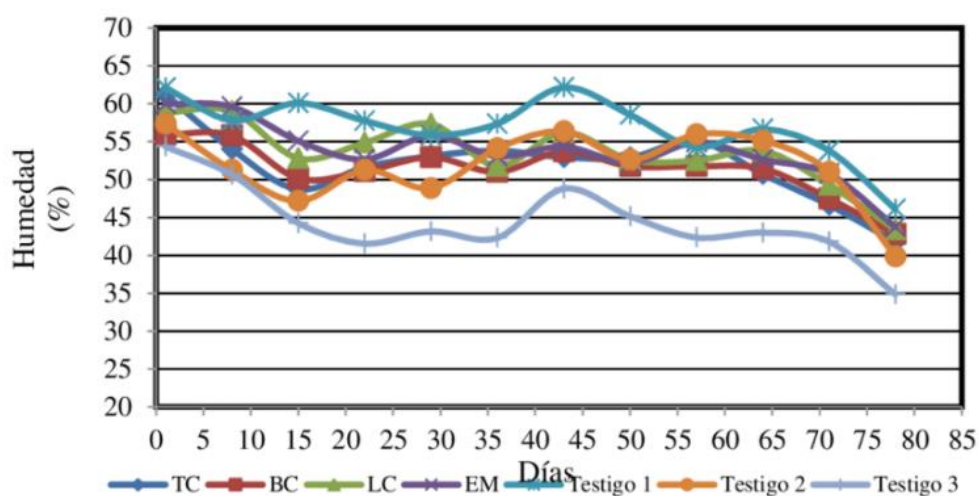


Figura 21. Comportamiento de la humedad monitoreado en compostas. Fuente: Azurduy S., Azero M., Ortuño N. (2016)

En la figura 22, se presenta el comportamiento de las mediciones de temperatura realizadas en las compostas de esta tesis, el cual es muy similar entre las tres, siendo de apenas 4°C la mayor diferencia de temperatura entre estas e incluso coincidiendo en algunos valores.

Analizando los datos de las mediciones, se observa una disminución de la temperatura inicial registrada, esto debido probablemente al descenso en la temperatura ambiente de la región (CONAGUA, 25 de marzo de 2022) lo cual afecta directamente el proceso de compostaje, para apartir de la semana 3 aumentar y mantenerse, en términos generales, hasta la semana 9 donde se presentó el valor más bajo de entre 17 y 18°C e incrementar hasta la semana 10 donde se concluyó el proceso de monitoreo del experimento.

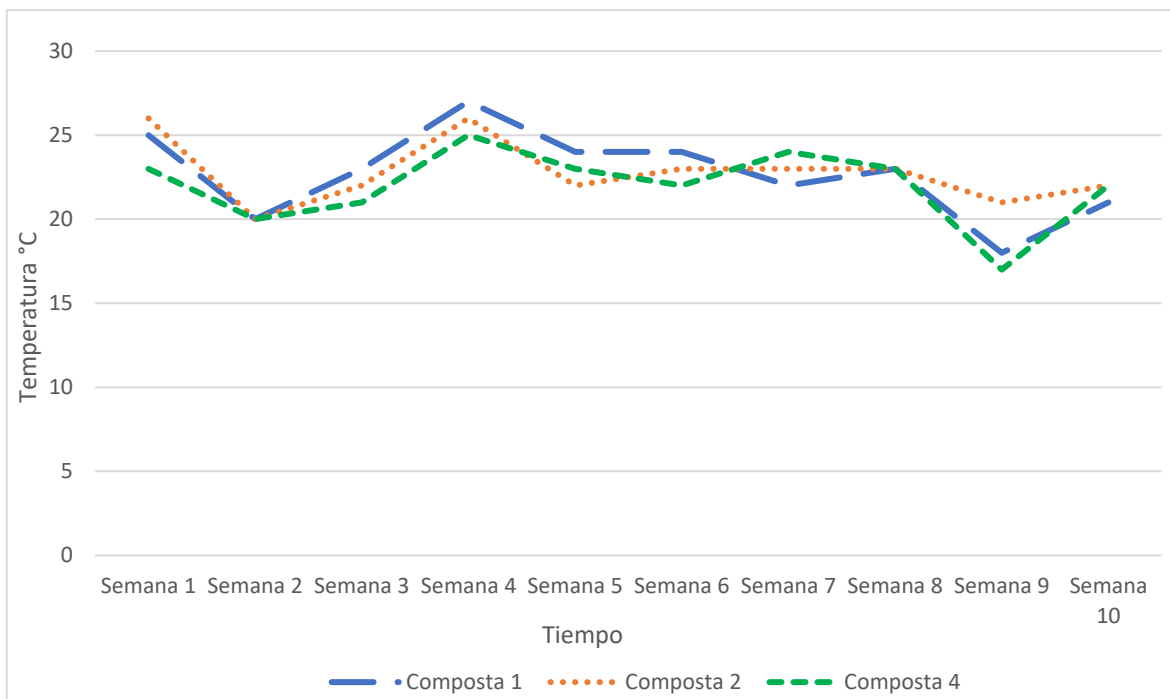


Figura 22. Valores de temperatura de las compostas monitoreadas en el experimento. Fuente: Autoría propia.

En la figura 23, Azurduy S., Azero M., Ortuño N. (2016) reportan el comportamiento de la temperatura en sus muestras, para las cuales su temperatura inicial registrada aumenta en la semana 1 alcanzando su valor máximo. Esta se mantiene constante en un rango de 35 a 55 °C hasta que a partir de la semana 8 la temperatura comienza a descender de forma continua, llegando en la semana 10 a valores cercanos a los iniciales.

Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A. (2013) mencionan que el comportamiento de la temperatura en las compostas tiene un amplio rango de variación, el cual al inicio del compostaje se da a temperatura ambiente, pudiendo aumentar hasta los 65° C para posteriormente al final del compostaje bajar de nuevo hasta temperatura ambiente, coincidiendo con lo reportado por Azurduy S., Azero M., Ortuño N. (2016). Sin embargo al comparar dicho comportamiento bajo condiciones óptimas, con los obtenidos en los experimento de esta tesis, se puede observar que el comportamiento puede relacionarse con la presencia de precipitaciones, temperaturas bajas, humedad relativa alta y la alta humedad interna dentro de las compostas que hicieron que las condiciones se encontraran por encima del rango óptimo.

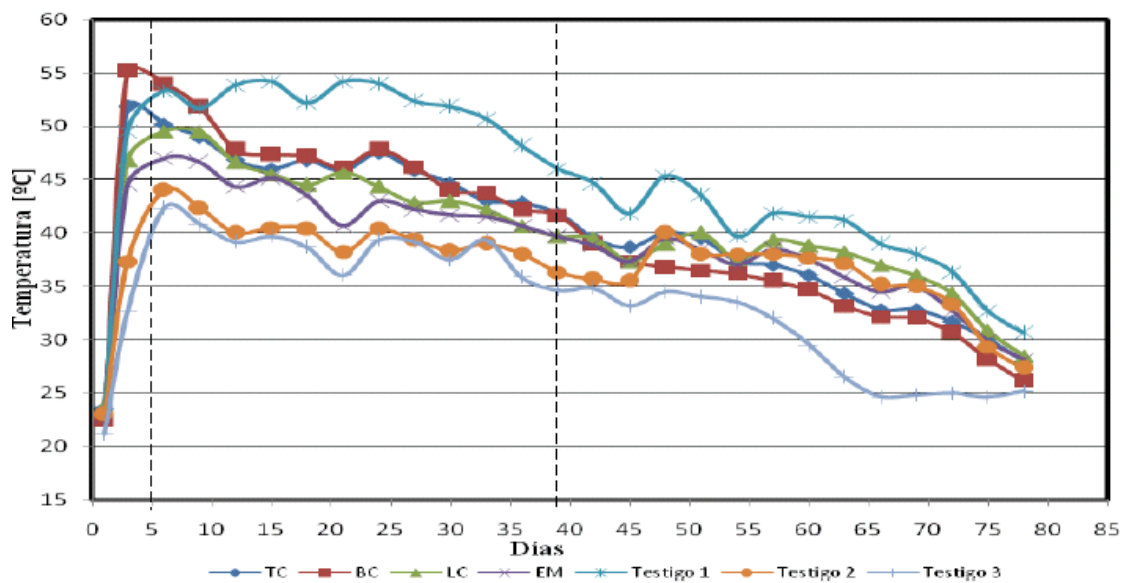


Figura 23. Comportamiento de la temperatura monitoreada en compostas. Fuente: Azurduy S., Azero M., Ortuño N. (2016).

La figura 24 muestra el comportamiento de las mediciones del pH en las compostas monitoreadas, en las que sus valores son muy parecidos entre sí, además de ser constantes durante todo el tiempo del monitoreo, al encontrarse en un rango de pH de 6 a 7, presentando una excepción en la última semana en la que dos compostas tuvieron una disminución considerable en sus valores los cuales se encuentran por debajo del rango mencionado.

Analizando los resultados de pH obtenidos en las mediciones realizadas durante el monitoreo, se observa que este se mantuvo constante en un rango de 6 a 7 de la semana 1 hasta la semana 9 con ligeras variaciones, mientras que en la semana 10 se alcanzó un rango de entre 6 y 4, siendo estos los valores mínimos.

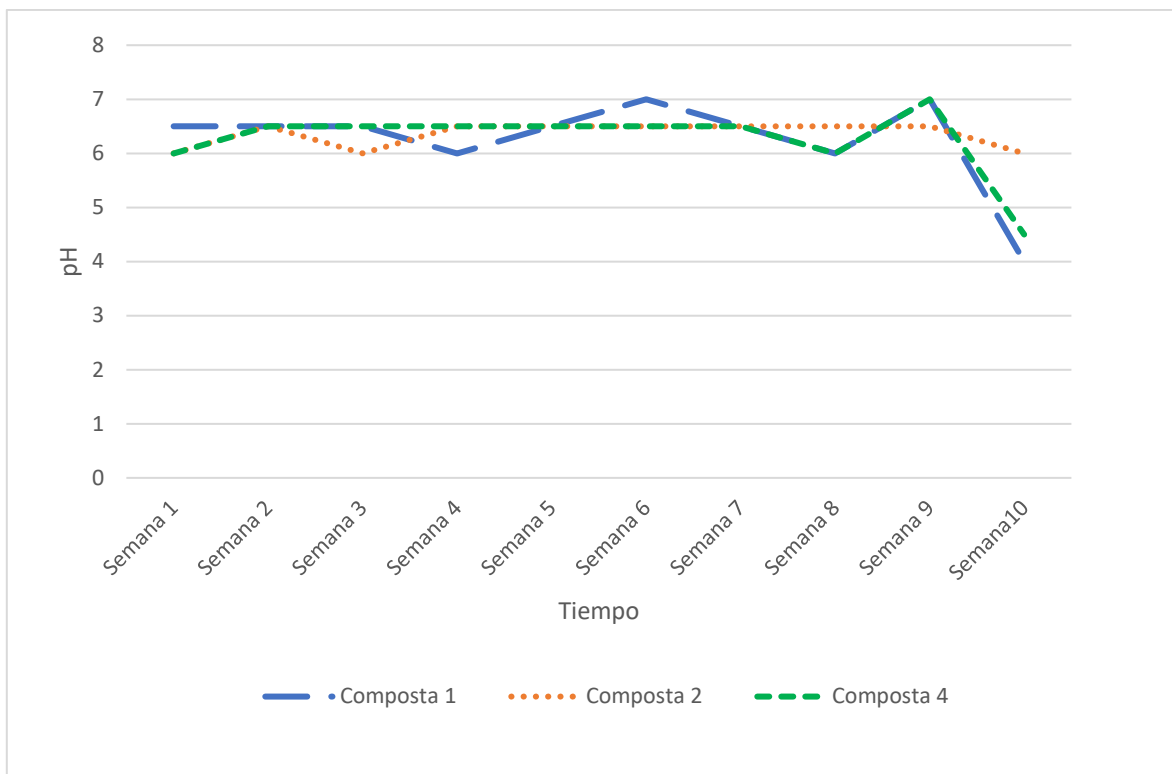


Figura 24. Valores de pH de las compostas monitoreadas en el experimento. Fuente: Autoría propia

Álvarez Vera M., Largo A., Iglesias Abad S., Castillo J. (2019) reportan que los valores de pH obtenidos en sus experimentos (Figura 25) se mantuvieron constantes en un rango de 6.5 a 7.5 de la semana 1 hasta la semana 8, a partir de la semana 9 hasta la última de su monitoreo (semana 13) los valores aumentaron a un rango de 7.5 a 8.5. Al comparar estos valores con los obtenidos en los experimentos de esta tesis se observa que no hubo un descenso en los valores del pH después de la primer semana, ni un incremento en el rango a partir de la semana 8 y por el contrario en la última semana se presentó una disminución considerable.

Sin embargo, a pesar de que los valores de pH obtenidos en las compostas no alcanzaron el rango del pH básico esperado en las últimas semanas del proceso de compostaje (7.5-8.5), de acuerdo con lo descrito por Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A. (2013) los valores de esta variable aún así se encuentran dentro del rango señalado ideal (4.5 a 8.5) para que se lleve a cabo el proceso de compostaje de manera adecuada.

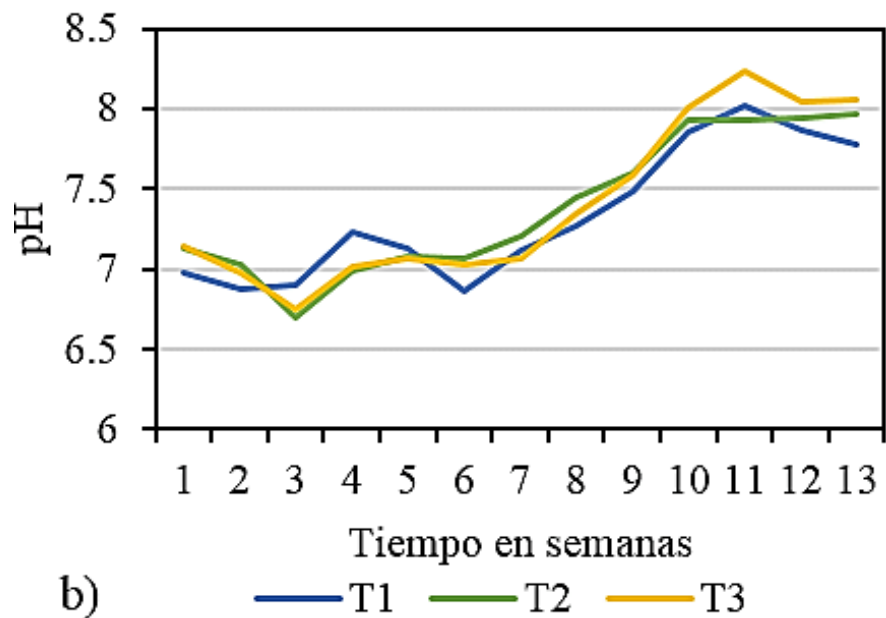


Figura 25. Comportamiento del pH monitoreado en compostas. Fuente: Álvarez Vera M., Largo A., Iglesias Abad S., Castillo J. (2019).

Las figuras 26, 27 y 28 muestran los resultados obtenidos del proceso de compostaje realizado por los puntos de muestreo 1, 5 y 10 y la forma en que estos le dieron aplicación en sus jardines, plantas y árboles.



Figura 26. Aplicación de compost en el punto de muestreo 1. Fuente: Autoría propia.



Figura 27. Aplicación de compost en el punto de muestreo 5. Fuente: Autoría propia.



Figura 28. Aplicación de compost en el punto de muestreo 10. Fuente: Autoría propia.



Figura 29. Uso que se le dio al compost en el punto de muestreo 10. Fuente: Autoría propia.

8.6 Valorización de los residuos inorgánicos

En las figuras 30, 31 y 32 se observa la separación y el almacenamiento de materiales inorgánicos que son susceptibles al reciclaje, los cuales fueron generados en el hogar de las personas que participaron en el proyecto, estos se llevaron a cabo respectivamente en los puntos de muestreo 1, 5 y 10.

En la figura 30, se muestra la separación y el almacenamiento que llevaron a cabo los habitantes del punto de muestreo 1, en el que recolectaron 1.200 kg de aluminio que al ser vendidos se obtuvo un beneficio económico en la familia de \$28.8, además de juntar 3.673Kg de vidrio que fue regalado a los apicultores de la región para ser reutilizado en el proceso de embazado de miel.



Figura 30. Separación y almacenamiento de los residuos en el punto de muestreo 1. Fuente: Autoría propia.

En la figura 31, se observa como en el punto de muestreo 5 se llevó a cabo la separación y almacenamiento de plástico rígido en el que se juntó la cantidad de 0.470 Kg que, al ser llevados al punto de compra fueron vendidos, con lo cual se obtuvo un monto de \$6.58.



Figura 31. Separación y almacenamiento de los residuos en el punto de muestreo 5. Fuente: Autoría propia.

En la figura 32, se observa la forma en que realizaron la separación y almacenamiento en el punto de muestreo 10, en el que se llevó a cabo la recolección de 1.764 Kg de plástico rígido, para ser vendido obteniendo la cantidad de \$24.69.



Figura 32. Separación y almacenamiento de los residuos en el punto de muestreo 10. Fuente: Autoría propia.

8.7 Encuesta sobre percepción de la problemática de los RSU

Con el objetivo de dar cumplimiento al quinto objetivo específico planteado en la tesis, se realizó una encuesta a 60 voluntarios pertenecientes a la cabecera municipal de Xicotepec, Puebla, de lo cual se logró conocer acerca de la perspectiva de los pobladores sobre el tema de Manejo de Residuos, además de la importancia que le dan al tema y el interés que tienen en aprovechar los residuos que generan en su hogar.

De la figura 33 a la 38 se observan las preguntas junto a sus respuestas que fueron utilizadas en la encuesta realizada a los habitantes de la cabecera municipal de Xicotepec la cual se llevó a cabo por medio de la aplicación Google Forms.

Encuesta sobre Residuos Sólidos Urbanos- Xicotepec

Descripción del formulario

Nombre:

Texto de respuesta breve

¿A qué se le llama residuo? *

Material o producto cuyo propietario desecha y se encuentra en estado sólido, líquido o gas contenido e...

Material o producto que es desechado por su propietario al considerarlo inservible y no es susceptible a ...

Figura 33. Encuesta sobre RSU pregunta 1. Fuente: Autoría propia

¿Cómo se les llama a los residuos generados en casa? *

Residuos de manejo especial

Residuos peligrosos

Residuos sólidos urbanos

¿Cómo se clasifican los Residuos Sólidos Urbanos? *

Residuos Peligrosos y Residuos de Manejo Especial

Residuos Orgánicos y Residuos Inorgánicos

Residuos Orgánicos y Residuos Peligrosos

¿A qué se le denomina residuos orgánicos? *

Desechos de origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural

Desechos de origen biológico que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo (planta y/o animal)

Figura 34. Encuesta sobre RSU preguntas 2, 3 y 4. Fuente: Autoría propia

¿A qué se le conoce cómo residuos inorgánicos? *

Desechos de origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural

Desechos de origen biológico que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo

¿Consideras que los residuos orgánicos pueden ser aprovechados? *

Sí

No

¿De qué forma pueden ser aprovechados los residuos orgánicos? *

Reciclaje

Compostaje

Reutilización

Figura 35. Encuesta sobre RSU preguntas 5, 6 y 7. Fuente: Autoría propia

Los residuos inorgánicos pueden ser aprovechados por medio de: *

Reciclaje

Compostaje

¿Consideras que el depositar los residuos generados en el hogar en espacios donde no son controlados o tratados genera problemas de contaminación para el medio ambiente? *

Sí

No

¿Conoces la cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) que se generan al día en tu hogar? *

Sí

No

Figura 36. Encuesta sobre RSU preguntas 8, 9 y 10. Fuente: Autoría propia

¿Sabes que se hace en la cabecera municipal con los residuos que se generan a diario? *

Sí, son separados para su tratamiento y/o aprovechamiento adecuado

Sí, son llevados a un sitio donde son depositados para su descomposición

No, no tengo idea

¿Conoces el lugar donde son depositados los residuos generados en tu hogar? *

Sí

No

No tengo idea

¿Conoces cómo puedes aprovechar los residuos generados en tu hogar? *

Sí

No

Figura 37. Encuesta sobre RSU pregunta 11, 12 y 13. Fuente: Aunoría propia

¿Por medio del aprovechamiento de residuos se pueden obtener beneficios económicos, sociales y ambientales? *

Sí

No

¿Te gustaría aprender sobre las formas en que puedes aprovechar tus residuos? *

Sí

No

Figura 38. Encuesta sobre RSU preguntas 14 y 15. Fuente: Autoría propia

De la pregunta 1 (figura 39) donde se les cuestionó acerca de a que se le denomina residuo, los resultados mostraron que el 67% de las personas encuestadas conoce la definición correcta de Residuo, mientras que el 33% desconoce el término correcto o lo confunden con el de “basura”.



Figura 39. Pregunta 1. Fuente: Autoría propia.

En la pregunta 2 (figura 40), acerca de cómo se les llama a los residuos generados en el hogar, el 97% de los encuestados conoce que es como Residuos Sólidos Urbanos, mientras que el 3% restante desconoce el término correcto ya que 1.5% dijo que la respuesta era Residuos de Manejo especial y el 1.5% restante Residuos Peligrosos.

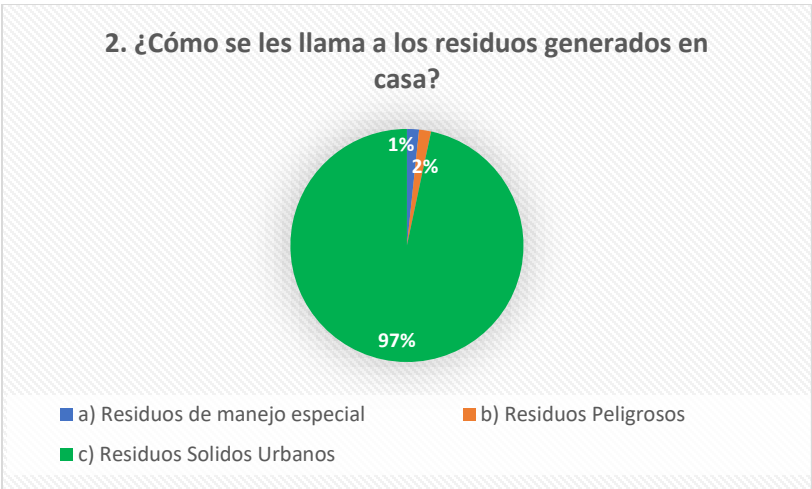


Figura 40. Pregunta 2. Fuente: Autoría propia.

Respecto de la tercera pregunta (figura 41), el 97% de los encuestados conoce la clasificación correcta de los Residuos Sólidos Urbanos, mientras que el 3% no lo saben.

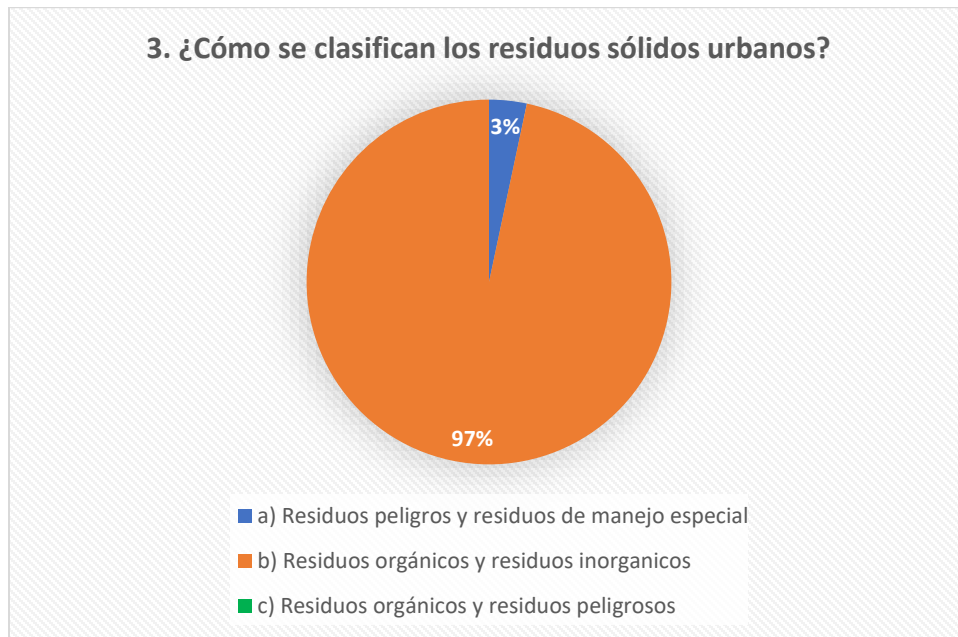


Figura 41. Pregunta 3. Fuente: Autoría propia.

En la pregunta 4 (figura 42) acerca de a que se le denomina Residuo Orgánico, se obtuvo que el 97% sabe que es un desecho de origen biológico que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, mientras que el otro 3% cree que es un desecho de origen no biológico. Mientras que en la pregunta 5 (figura 43) sobre la definición de Residuo Inorgánico, los resultados obtenidos indican que el 95% de la población dice que son desechos de origen no biológico, y que tiene su origen en la industria o algún proceso no natural, y el 5% considera que son desechos de origen biológico. Los resultados obtenidos en la pregunta 4 y 5 demuestran que la población tiene claro la definición de los conceptos de Residuo orgánico y Residuo inorgánico, lo cual brinda una ventaja al trabajar futuros proyectos acerca del tema de residuos.

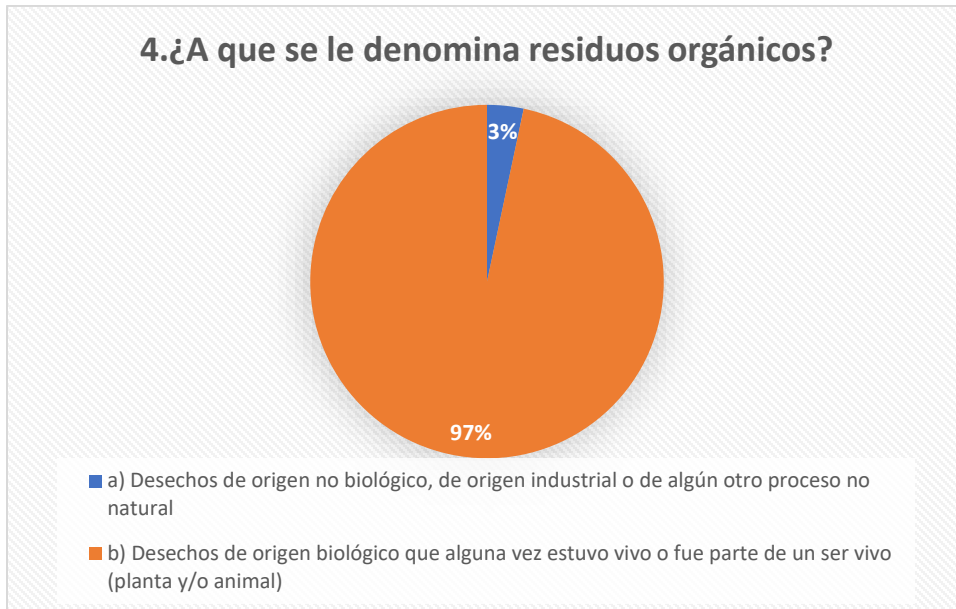


Figura 42. Pregunta 4. Fuente: Autoría propia.



Figura 43. Pregunta 5. Fuente: Autoría Propia.

En la figura 44 se observa que 100% de las personas encuestadas considera que los residuos orgánicos generados en sus hogares sí pueden ser aprovechados. En la figura 45 se muestra que el 93% conoce la forma correcta de aprovechar los residuos orgánicos al seleccionar la opción del proceso de compostaje. Por otro lado, el 5% consideró que se pueden aprovechar por medio del reciclaje, mientras que el 2% restante eligió el proceso de reutilización.

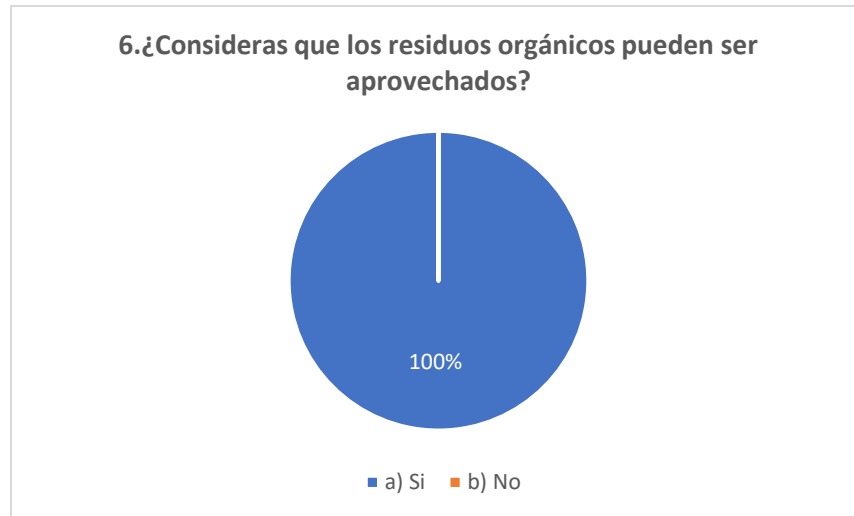


Figura 44. Pregunta 6. Fuente: Autoría Propia.

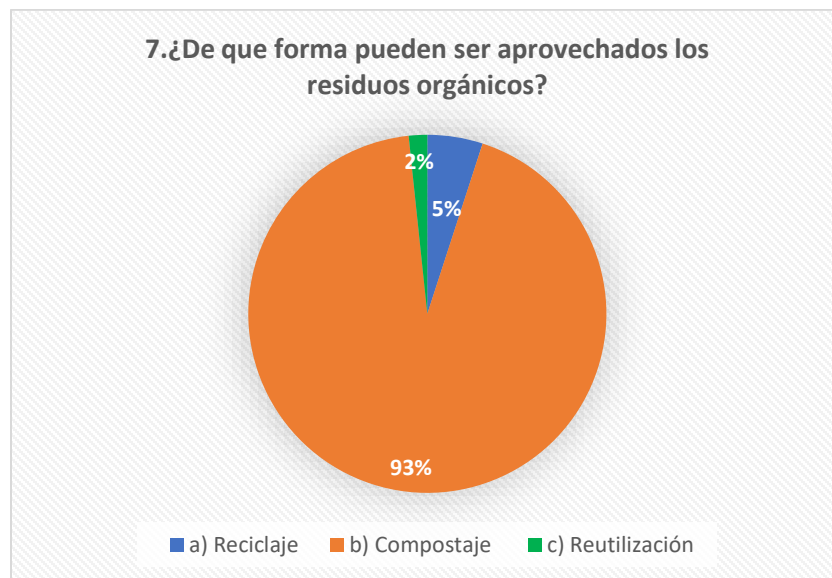


Figura 45. Pregunta 7. Fuente: Autoría Propia

Como se observa en la figura 46 el 90% de las personas encuestadas considera que los residuos inorgánicos pueden ser aprovechados por medio de procesos de reciclaje, mientras que el otro 10% cree que se pueden aprovechar por medio del compostaje.

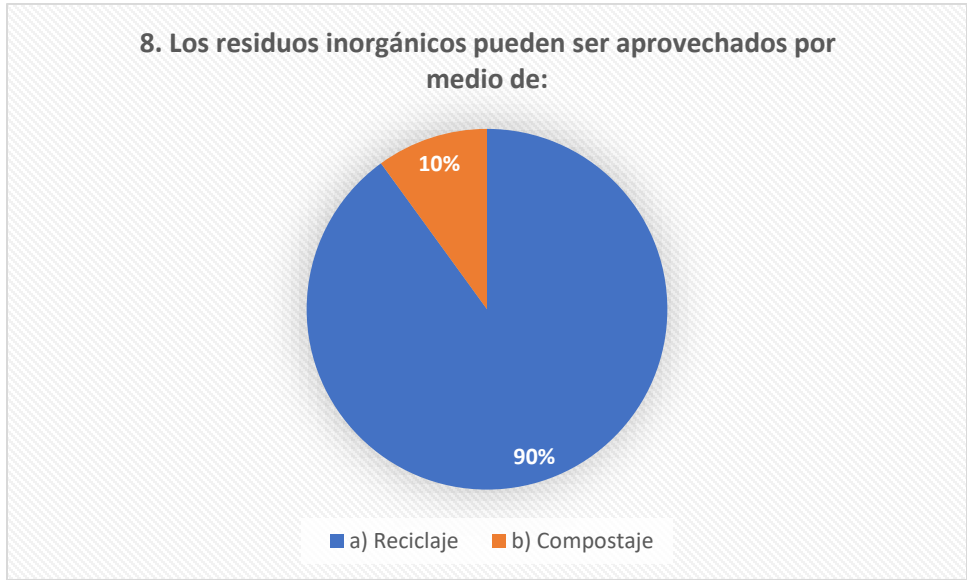


Figura 46. Pregunta 8. Fuente: Autoría Propia.

En la pregunta 9 (figura 47) acerca de si consideran que el depositar los residuos generados en espacios donde no son controlados o tratados genera problemas de contaminación para el medio ambiente, como resultado se obtuvo que el 98% es consciente de que se generan problemas de contaminación debido a una mala gestión de los residuos, mientras que el 2% restante considera lo contrario.

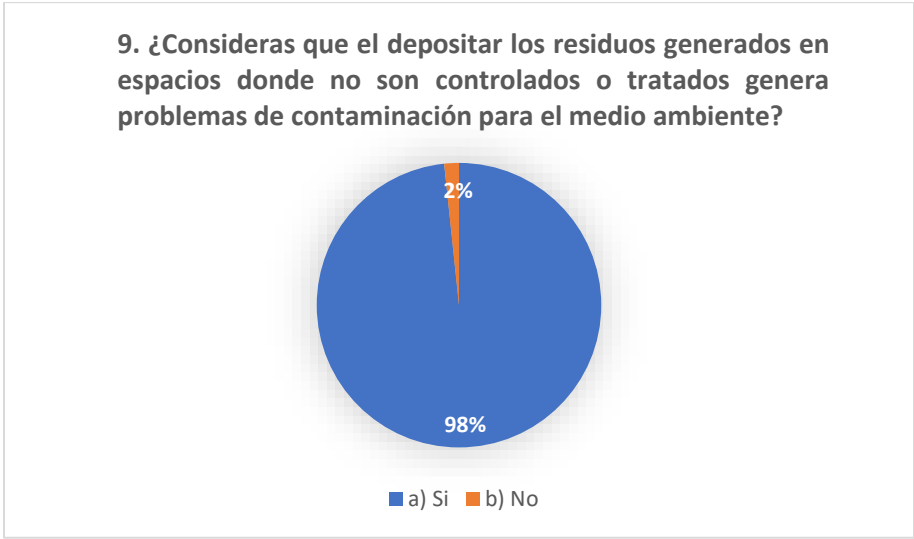


Figura 47. Pregunta 9. Fuente: Autoría Propia

De la pregunta 10 (figura 48), sobre si se conoce la cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) que se generan en su hogar, el 75% dijo conocer la cantidad, mientras que el 25% restante dijo no conocerlo.

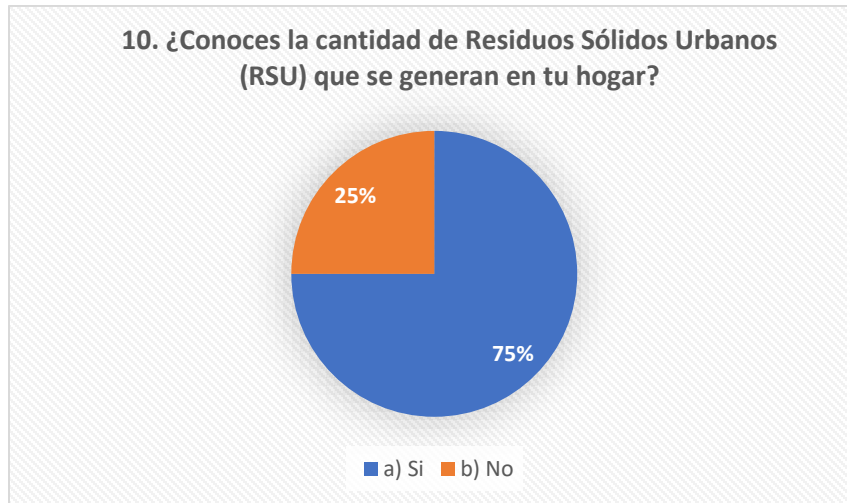


Figura 48. Pregunta 10. Fuente: Autoría Propia.

En la pregunta 11 (figura 49), sobre si se sabe que es lo que se hace en la cabecera municipal de Xicotepec con los residuos que se generan a diario, el 52% de los encuestados mencionó “no tener idea”, el 5% que “son separados para su tratamiento y/o aprovechamiento adecuado y el 43% que “son llevados a un sitio donde son depositados para su descomposición”. Acerca de la pregunta 12 (figura 50), el 60% de los encuestados dijo conocer el sitio de disposición final en el que son depositados los RSU generados en la cabecera municipal de Xicotepec, el 27% dijo no conocer el lugar y el 13% dijo no tener idea acerca del sitio.



Figura 49. Pregunta 11. Fuente: Autoría propia.



Figura 50. Pregunta 12. Fuente: Autoría propia

Para la pregunta 13 (figura 51), acerca de si conocen como aprovechar los residuos generados en su hogar, en los resultados se obtuvo que observó que el 63% sí sabe cómo aprovechar sus residuos, mientras que el 37% restante no.

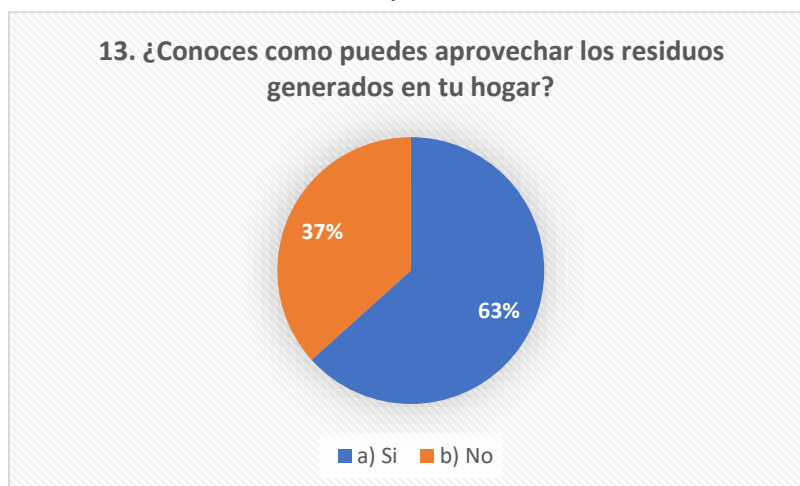


Figura 51. Pregunta 13. Fuente: Autoría propia.

Con la pregunta 14 (figura 52), sobre si es posible obtener beneficios económicos, sociales y ambientales por medio del aprovechamiento de residuos, el 97% cree que, si es posible obtener estos beneficios por medio de su aprovechamiento, mientras que el 3% cree que no se puede. En la última pregunta (figura 53), acerca de si les gustaría aprender sobre cómo aprovechar sus residuos, el 97% dijo que “sí” y el 3% restante que “no”. La participación de la población en el desarrollo de los proyectos de gestión integral de los residuos sólidos urbanos es muy importante, por lo que el interés que se tiene en la comunidad facilitaría el trabajo.

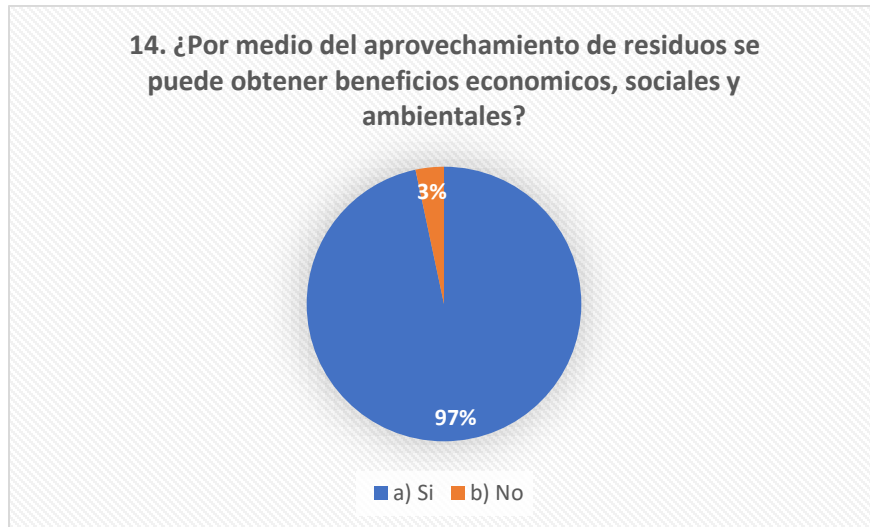


Figura 52. Pregunta 14. Fuente: Autoría Propia.

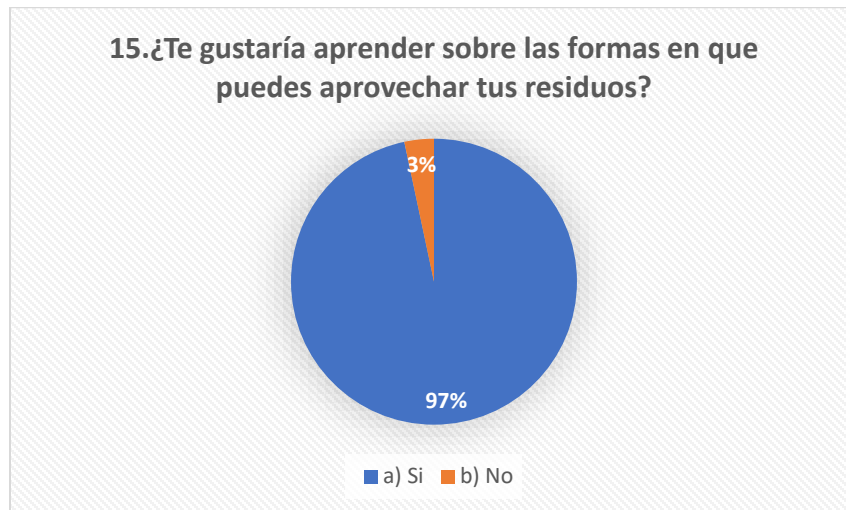


Figura 53. Pregunta 15. Fuente: Autoría propia.

9 Conclusión

Los resultados obtenidos en el estudio de generación de residuos muestran que en los catorces puntos de muestreo (PM) participantes se generó un total de 108.594 kg de RSU, siendo el PM 3 el de mayor generación y PM 13 el de menor cantidad generada, debido a esto se concluye que la generación de RSU no depende de la cantidad de personas que habiten las casas habitación, ni del área geográfica en el que éstas se encuentran y si de las actividades que las personas realizan y el tiempo que pasan en su hogar, además de los usos y costumbres que estos tengan.

El dato obtenido del cálculo de generación per-cápita del estudio de generación para la zona de estudio se ubica muy por debajo de la media nacional, así como de lo reportado por el estudio estatal respecto de la generación de residuos.

El estudio de caracterización de RSU muestra que el 64.27% del total de residuos generado corresponde a los residuos orgánicos por lo que son el tipo de residuo más generado en Xicotepec, ante esta situación, la elaboración de compostas caseras representa la oportunidad de poder disminuir la cantidad de RSU que son depositados en el sitio de disposición final además de dar lugar a su aprovechamiento como una materia prima para la elaboración del compost.

La participación de los habitantes de los puntos de muestreo para el aprovechamiento de residuos se ve afectada por el poco interés que muestran hacía el tema y las actividades que realizan a diario, debido a que tienen la idea que la elaboración y monitoreo de la composta requiere más del tiempo que tienen disponible, debido al desconocimiento de la aplicación de dicha técnica.

En el monitoreo de las compostas elaboradas en los puntos de muestreo 1, 5 y 10 se pudo observar que las variables de temperatura, pH y humedad durante el proceso de compostaje no fueron las ideales respecto de las reportadas en la teoría, esto debido a las condiciones climáticas de la zona por la época del año en la que el estudio fue realizado, sin embargo, el proceso de compostaje se llevó a cabo de manera correcta y la composta pudo aplicarse en jardines, plantas y árboles de las casas habitación.

En lo que respecta a la educación ambiental, se pudo determinar que los habitantes de Xicotepec tienen conocimientos básicos sobre el tema de Residuos Sólidos Urbanos, sin embargo, existen puntos de oportunidad y mejora, ya que de capacitar constantemente a los ciudadanos se podría crear una mayor conciencia e interés acerca del tema, provocando de este modo un incremento en la participación de proyectos relacionados al tema.

10. Bibliografía

- Álvarez Vera M., Largo A., Iglesias Abad S., Castillo J. (2019). Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos, *Scientia Agropecuaria* 10(3): 353 – 361 Ecuador (2019).
- Azurduy S., Azero M., Ortuño N. (2016). Evaluación de activadores para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos en el municipio de Quillacollo, Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana, *RevActaNova*. v.7 n.4 Cochabamba set. 2016.
- Barrena Gómez R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos*. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso, Fundació Privada Estudis del Medi Ambient de Mollet del Valles, Autònoma de Barcelona, Departament D'Enginyeria Química.
- CARE Internacional Avina (2012). Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades, Modulo 9 Gestión Integral de Residuos Sólidos, Ecuador
- Campins Eritja M. (1994). *La Gestión de los Residuos Peligrosos en la Comunidad Europea, Barcelona*, J. M. Bosch Editor, 318 págs. [RECENSIÓN]". *Anuario Español de Derecho Internacional*. 11, 1995, 847 – 851
- Casillo Martínez R. 2010. La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual, *Revista Electrónica Educare*, vol XIV, núm. 1, enero-junio, 2010, pp 97-111 Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- CESOP (2012). *Residuos Sólidos Urbanos en México*, Reporte número 51 del Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública de la Cámara de Diputados, LXI Legislatura, México.
- CEIGEP (S.F.). Información básica del Municipio de: Xicotepec, Región: Sierra Norte, Gobierno del Estado de Puebla. Recuperado de: <https://xicotepecpuebla.com/Web%20Page%20-%20SIE%20Ficha%20General.pdf>
- Comisión Federal de Electricidad (2012). *Guía de Generación de Electricidad Mediante Residuos Sólidos Urbanos*, Instituto de Investigaciones de Electricidad, CFE, México.
- DOF (2003). *LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS*.
- Figueroa M. (2008) *Separación de las etapas de almacenamiento, recolección y transporte de los residuos sólidos en el sistema de aseo urbano del municipio de Chinú-Córdoba*, Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Colombia.

- EFA ORETANA (2010). *Técnicas de educación ambiental*, Bloque 1, Ciclo Formativo de Grado Superior “Gestión Forestal y del Medio Natural”. Recuperado de: <https://gestioncinegetica.files.wordpress.com/2010/11/apuntes-tc3a9cnicas-de-educac3b3n-ambiental-apuntes.pdf>
- Escobar López (2014). Percepción del Manejo de Residuos Sólidos en la Comunidad de la Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana
- García E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Vol. VI, Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México, México, pp 90.
- Gómez Delgado M. (1995). *El Estudio de los Residuos: Definiciones, Tipologías, Gestión y Tratamiento*, Serie Geográfica, 1995, n°5, pp.21-42.
- Gómez Rosales S., De Loures Ángeles M., Núñez Hernández G., Figueroa Viramontes U. (2013). *Guía de buenas prácticas de manejo de excretas: Metodologías para la elaboración de compostas y lombrices de excretas de ganado de leche*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- Ibáñez J.R., Corroppoli M.D., (2002). Valorización de Residuos Sólidos Urbanos, F.C.E., U.N.P.S.J.B. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/valoriza-residuos.pdf>
- INAFED (2006). *Xicotepec*, Enciclopedia de los municipios y delegaciones. Estado de Puebla, Recuperado de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21197a.html>
- INEGI (1994). *Xicotepec Estado de Puebla: Cuaderno estadístico municipal*. Xicotepec, Estado de Puebla, México.
- INEGI (2015). *Panorama sociodemográfico de Puebla 2015*, Encuesta Intercensal, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México
- INEGI (2017). *Uso de suelo y vegetación*, Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y vegetación, Escala 1:250 000, Serie VI, Conjunto Nacional. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598459>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Woerden, F. (2018). *WHAT A WASTE 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, Urban Development, Washington, DC, World Bank.

- Kokusai J. (1998). *Estudio sobre el manejo de los residuos sólidos urbanos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos*. Informe Final. Agencia de Cooperación Internacional del Japón, Ciudad de México, México.
- Llorca Navasquillo F., Gómez García J. A., Mansergas López F. J. (2015). Técnicas de educación e interpretación ambiental. Síntesis, Madrid, España. Recuperado de: <https://www.sintesis.com/data/indices/9788490771167.pdf>
- López L.; Valverde C.; y Figueroa Ma. E. (2017) *Pueblos Mágicos. Una visión interdisciplinaria*, Vol. III (1ª edición), México: UAM/UNAM/Facultad de Arquitectura, pp 399-428.
- NORMA MEXICANA NMX-AA-22-1985. PROTECCIÓN AL AMBIENTE - CONTAMINACIÓN DEL SUELO -RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES - SELECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTOS.
- NORMA MEXICANA NMX-AA-61-1985, PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES- DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN
- Román P., Martínez Ma. M., Pantoja A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor, Experiencias en América Latina*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.
- Romero Paredes A., Bergua Conde M., Mark Oven (2013). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos de la CEDA*, Tetra Tech ES Inc Programa para el Desarrollo Bajo Emisiones de México, USAID.
- Romo Millares C.A., Medrano Vaca C., Romero Tehuitzil H., Arvizu Fernández J. L., Huacruz Villamar J., Beltrán Adán J. (2012). *Generación de electricidad mediante residuos sólidos urbanos*, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Nacional de Electricidad, México.
- Ruiz A. (2005) *Guía técnica para la formulación de planes de minimización de residuos sólidos y recolección segregada en el nivel municipal*, USAID, Perú, pp.12.
- SAM (2003). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*, Secretaria de Asuntos Municipales, Ministerio del Interior y Transporte, Presidencia de la Nación, Buenos Aires, Argentina.
- SDSPA (2000). *Manual Operativo de Valorización de Residuos Sólidos Urbanos Para Medianos y Pequeños Asentamientos de Argentina*, Plan Nacional de Valorización de Residuos, Secretaria de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, Argentina.

- SEDESOL (2013). *Xicotepec Datos Generales*, Unidad de Microrregiones, Cédula de Información Municipal, Municipios: PDZP, Secretaria de Desarrollo Social, México. Recuperado de: <http://microrregiones.sedesol.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=pdzp&ent=21&mun=197>
- SEMARNAT (2012). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Edición 2012. México. 2013. Recuperado de: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf
- SEMARNAT (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Edición 2015. SEMARNAT. México
- SEMARNAT (2017). *Clasificación, Reciclaje y Valorización de los RSU*, Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/clasificacion-reciclaje-y-valoracion-de-los-rsu>
- SEMARNAT (2020). *Diagnostico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- SMA (2020), *Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Secretaria del Medio Ambiente*, Gobierno de la Ciudad de México, México. Recuperado de: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>
- Sztern D., Pravia M.A. (1999). *Manual para la elaboración de compost, Bases Conceptuales y Procedimientos*, Presidencia de la República, Oficina de Planeamiento y Presupuesto, Unidad de Desarrollo Municipal, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud.
- Toscano Aparicio A. (2017). *Pueblos Mágicos; Una visión interdisciplinaria*, Vol. III, UNAM, México.
- Unesco (1997). Conferencia Intergubernamental sobre Educación Ambiental organizada por la Unesco con la cooperación del PNUMA, Tbilisi (URSS), Informe Final. Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/cidea7/documentos/Declaracion-de-Tbilisi-1977.pdf>

Universidad del Desarrollo del Estado de Puebla (2017). Programa de Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Puebla 2011-2017, Gobierno de Puebla, México. Recuperado de: http://www.igavim.org/Igavim100dias/Anexos/7.Prog_residuosEstadoPuebla.pdf