



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla



Facultad de Ingeniería Química

Licenciatura en Ingeniería Ambiental

Tesis

Para obtener el título de:

**Ingeniero Ambiental**

---

---

Título de la tesis: Manejo de los residuos sólidos urbanos en la colonia de Fraccionamiento Villas Xoxo II del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán en el Estado de Oaxaca

---

---

Presenta: Andrea Martínez Ruiz

Directora de tesis: Dra. Maribel Castillo Morales

Asesora de tesis: Dra. Gabriela Pérez Osorio

Junio 2022.

# Índice

## **MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA COLONIA DE FRACCIONAMIENTO VILLAS XOXO II DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ XOXOCOTLÁN EN EL ESTADO DE OAXACA** ..... 5

<b>1. Introducción</b> .....	5
<b>2. Planteamiento del problema</b> .....	6
<b>3. Justificación</b> .....	7
<b>4. Objetivos</b> .....	8
4.1 Objetivo general.....	8
4.2 Objetivos específicos.....	8
<b>5. Marco teórico</b> .....	9
5.1 Características generales del Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán.....	9
5.1.1 Información general del municipio.....	9
5.1.2 Antecedentes históricos.....	9
5.1.3 Localización y división territorial.....	10
5.1.4 Clima.....	12
5.1.5 Hidrografía.....	12
5.1.6 Geología y Orografía.....	14
5.1.7 Tipo y uso de suelo.....	15
5.1.8 Flora y fauna.....	17
5.2 Características sociodemográficas del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán.....	17
5.2.1 Demografía.....	17
5.2.2 Población económicamente activa (PEA).....	18
5.2.3 Vivienda.....	19
5.3 Residuos sólidos urbanos.....	21
5.3.1 Marco conceptual del plan de gestión integral de los residuos sólidos urbanos. .....	22
5.3.2 Impacto ambiental de los residuos sólidos urbanos.....	24
5.3.3 Antecedentes de los residuos sólidos urbanos en México.....	26
5.3.4 Gestión de los residuos sólidos urbanos.....	27
5.3.5 Gestión de residuos sólidos urbanos en Oaxaca.....	30
5.3.6 Gestión en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán.....	31

5.4 Marco legal en materia de residuos sólidos urbanos en México.....	32
5.4.1 Normatividad federal .....	32
5.4.2 Normatividad para el Estado de Oaxaca .....	35
5.4.3 Normatividad en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán .....	36
5.5 Aprovechamiento de residuos .....	36
5.5.1 Compostaje.....	38
5.5.1.1 Etapas del compostaje .....	38
5.5.1.2 Parámetros durante el compostaje.....	41
<b>1. METODOLOGÍA.....</b>	<b>44</b>
6.1 Descripción del sitio de estudio .....	44
6.2 Caracterización de los residuos en el sitio de estudio .....	44
6.2.1 Diseño de muestreo .....	44
6.2.2 Determinación de generación de fuentes residenciales.....	45
6.2.3 Cuantificación de productos subproductos.....	46
6.2.4 Determinación del peso volumétrico de los residuos sólidos .....	46
6.3 Valorización de residuos inorgánicos .....	47
6.4 Aprovechamiento de residuos orgánicos .....	47
6.5 Capacitación .....	49
6.6 Plan operativo.....	49
<b>7. Resultados y discusión.....</b>	<b>50</b>
7.1 Generación .....	50
7.2 Productos y subproductos .....	55
7.3 Aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos .....	58
7.3.1 Compostaje.....	61
7.3.2 Aplicación de las compostas.....	67
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>69</b>
<b>9. Bibliografía.....</b>	<b>73</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>78</b>
1. Plan operativo .....	78

## Índice de Figuras

Figura 1. Localización y división territorial del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán .....	11
Figura 2. Hidrografía del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán y de la colonia Villas Xoxo II.	14
Figura 3. Tipo y uso de suelo en el municipio.....	16
Figura 4. Etapas del compostaje y evolución de los parámetros durante el proceso .....	41
Figura 5. Localización de la zona de estudio .....	45
Figura 6. Variabilidad de los datos por día de muestreo.....	53
Figura 7. Generación per-cápita de la colonia.....	55
Figura 8. Residuos con potencial para ser aprovechados y valorizados .....	58
Figura 9. Composta elaborada por un colono.....	60
Figura 10. Parámetros promedio de las compostas .....	63
Figura 11. Siembra de plantas en el área verde común del condominio.....	68

## Índice de Tablas

Tabla 1. Información meteorológica del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán .....	12
Tabla 2. La clasificación climática BS1hw”g del municipio.....	13
Tabla 3. Población por sexo .....	18
Tabla 4. Población económicamente activa en Santa Cruz Xoxocotlán .....	18
Tabla 5. Indicadores de vivienda en Santa Cruz Xoxocotlán.....	19
Tabla 6. Características de vivienda en Santa Cruz Xoxocotlán.....	20
Tabla 7. Características de las viviendas particulares habitadas .....	20
Tabla 8. Productos y subproductos del estudio.....	57
Tabla 9. Valorización de residuos inorgánicos. ....	59

# **Manejo de los residuos sólidos urbanos en la colonia de Fraccionamiento Villas Xoxo II del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán en el Estado de Oaxaca**

## **1. Introducción**

La contaminación ambiental es un problema de carácter mundial y compromete al ecosistema y a las interacciones que hay en él, SEMARNAT (2013) declara que un tipo común de contaminación se da a través de los residuos sólidos urbanos que son arrojados en sitios inadecuados.

Parte de la solución se enfoca en la gestión ambiental realizada a través del manejo de residuos que incluye la generación, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos (Pacha, 2017). Por otro lado, Orjuela (2015) señala que la gestión prioriza la educación ambiental como medio de promoción del desarrollo sostenible y además de un instrumento vital para que la población pueda formar parte de la solución del problema.

Lo anterior es importante debido a que no solo se deberían considerar los impactos ambientales y de salud pública sino también los beneficios económicos y sociales (Ruiz, 2020) teniendo en cuenta esta premisa, se pretende implementar el manejo de los residuos sólidos generados en la colonia a través de un estudio de caracterización que incluya la determinación de generación, peso volumétrico y cuantificación de productos y subproductos, lo que permitiría la correcta toma de decisiones que considere todos los elementos económicos, sociales el cual garantizaría un cambio positivo a la colonia y serviría de referente para el municipio e incluso para los demás sitios en el Estado de Oaxaca.

De modo que el cambio de hábitos de la población para el manejo de residuos sólidos urbanos podrá mejorar la calidad de vida y economía de la colonia de Fraccionamiento de Villas Xoxo II de tal forma que complementarían el sistema actual al proponer soluciones como eje principal el mayor aprovechamiento de materiales reciclables, la difusión de la reutilización de los productos que adquieren, antes de que

lleguen a ser considerados desperdicio o basura; para lograr reducir la mayor cantidad de residuos que lleguen a los sitios de disposición final.

## **2. Planteamiento del problema**

En México se producen diariamente 120,128 t/día de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de los cuales Oaxaca genera 3,538 t/día con un porcentaje de 33.78% en residuos susceptibles al aprovechamiento, 44.05% orgánicos y 22.17% otros (Residuo fino, pañal desechable, algodón, trapo, loza y cerámica) (DGBIR,2020), según SEMARNAT (2020) el 95% de dichos residuos son depositados sin control en distintos tiraderos clandestinos, a orillas de ríos y caminos.

Aguilar, Álvarez & Álvarez (2020) afirman que la ciudad de Oaxaca cuenta con un plan ineficiente para la gestión integral de RSU que se debe a la falta de planeación, gestión de proyectos ineficientes, la diversidad cultural que presenta el Estado al ser el que posee más municipios en el país (570), lo que dificulta la administración. Por otro lado, un porcentaje de los pueblos presenta diferentes políticas en función a sus ideologías, creencias y valores, por lo que es necesario desarrollar un plan que se adapte a las necesidades de cada comunidad aprovechando las ventajas de los sistemas de usos y costumbres para el beneficio del desarrollo de este.

La recolección es muy relevante para una adecuada gestión de los residuos, ya que controlar el sitio de disposición final evita que estos se dispersen causando un impacto negativo al ambiente; tomando en cuenta esta premisa se puede dimensionar el problema, ya que según Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales (CNGMD), (2017) Oaxaca solo presenta el 56% de cobertura de recolección, que lo posiciona como el estado con el menor porcentaje de recolección de los RSU totales, asimismo, solo cuenta con 2 centros de acopio y a pesar de contar con 385 sitios de disposición final donde se depositan 316.17 t/día, el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DGBIR), (2020) señala que 207 sitios no cumplen ninguna de las características básicas de infraestructura y de operación.

El municipio de Santa Cruz Xoxocotlán ubicado en la región de Valles Centrales del estado de Oaxaca muestra un ejemplo de las deficiencias en la gestión de RSU, debido a que el 45.68% de la población no cuenta con los servicios básicos de la vivienda incluyendo la recolección de residuos, además las colonias que cuentan con el servicio como la colonia Fraccionamiento de Villas Xoxo II afirman que es ineficiente; en primer lugar porque la frecuencia de recolección propicia que se acumule basura en la calle y como consecuencia permite la entrada a camiones de tipo privado que representan un gasto extra considerando que el municipio cuenta con el 50% de personas en pobreza y 6.8% en pobreza extrema. En segundo lugar, el camión no cuenta con la separación de los residuos y no permite el aprovechamiento de estos.

El plan de desarrollo municipal 2020 plantea estrategias de educación ambiental y reciclaje lo cual presenta puntos positivos de oportunidad en la gestión de los RSU de forma sustentable, de esta forma se decidió tomar la iniciativa de plantear el manejo de los residuos en la colonia de Villas Xoxo con el fin de generar el plan operativo que permita el aprovechamiento.

### **3. Justificación**

Los RSU se han convertido en un tema de preocupación que representa un desafío a la gestión pública (AIDIS, 2006), el aumento de la generación de residuos está ligado al crecimiento poblacional de las entidades y el modelo económico que se enfoca en elevar el consumo de forma exponencial como parte del desarrollo (Zaman y Lehmann, 2011).

Buenrosotro & Bocco, (2003) afirman que los municipios presentan problemas de administración y planeación adecuada de la gestión y que esto se debe a la carencia de recursos económicos en conjunto con la demanda de los servicios que aumenta exponencialmente con la población, lo que ocasiona un sistema de aseo público deficiente para recolección, tratamiento y disposición de RSU que repercute en la disminución de calidad de vida de los habitantes, el impacto ambiental y a la salud.

Asimismo, el gobierno estatal en su informe ejecutivo en materia de residuos en (2017) afirma que “La infraestructura existente para el manejo de los residuos sólidos

urbanos y de manejo especial en el estado, es insuficiente, obsoleta y muy precaria, esta situación, aunque lentamente, poco a poco está siendo revertida”.

Lo anterior demuestra el área de oportunidad existente en la colonia para la creación de estrategias del manejo adecuado de sus residuos sólidos urbanos, permitiendo a los habitantes concientizarse para responsabilizarse y formar parte a la solución de este problema.

El presente proyecto se plantea con el fin de generar un plan operativo que permita el manejo de los RSU en la colonia como una estrategia de mejora desde un enfoque sustentable que cumpla con los objetivos de la agenda 2030 y desarrollo municipal, Bernache *et al.* (2001) afirma que conocer la composición, aprovechamiento y valorización de los RSU permitirá la toma de decisiones en el manejo adecuado de los residuos por parte de la colonia en beneficio de la misma, incluyendo la disminución de los impactos negativos al ambiente así como la capacitación que permita un trabajo conjunto entre los habitantes.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Implementar el manejo de los residuos sólidos urbanos en la colonia de Fraccionamiento Villas Xoxo II del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán del Estado de Oaxaca.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar los residuos sólidos urbanos generados (análisis de generación, caracterización de productos y subproductos y determinación de peso volumétrico).
- Capacitar a la población acerca del manejo de los residuos sólidos urbanos.
- Aprovechar los residuos orgánicos.
- Valorizar los residuos inorgánicos.
- Generar el plan operativo para el manejo de los residuos sólidos urbanos.

## **5. Marco teórico**

### **5.1 Características generales del Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán**

#### **5.1.1 Información general del municipio**

El municipio de Santa Cruz Xoxocotlán (usualmente conocido con la abreviación de Xoxo) se compone de dos palabras Xoxocotl que proviene de "Fruto muy ácido o agridulce" y del Tlan "justo, entre" y el significado sería "Junto a los frutos muy ácidos o agridulces".

El escudo cuenta con los distintivos que representan al municipio, el primer elemento visual es la zona arqueológica de Monte Albán que parte clave de la cultura oaxaqueña debido a su ornamentación y sus templos en donde se presentaban las diferentes órdenes. Por otro lado, el segundo elemento son las urnas reforzadas con Cosijos que transmitían un concepto místico entre la tierra y los dioses que simbolizaba poder y unión de las comunidades, asimismo se refleja las cinco direcciones: los cuatro puntos cardinales y el centro o dimensión arriba y abajo. Por último, el concepto prehispánico de un árbol de ciruela.

#### **5.1.2 Antecedentes históricos**

Los pobladores de este lugar según el historiador Clavijero fueron mixtecas que vinieron de Achiutla y Tilantongo y crearon este pueblo 375 años después de haberse establecido dicho pueblo en la mixteca que fue por el año de 1962 d.C.

Los mixtecos habitaron al noroeste y suroeste de la ciudad de Oaxaca, teniendo por lindero a la nación zapoteca. Fundaron por un lado Huajolotitlán, hoy Huitzo y por el otro Cuilápam cerca de Monte Albán.

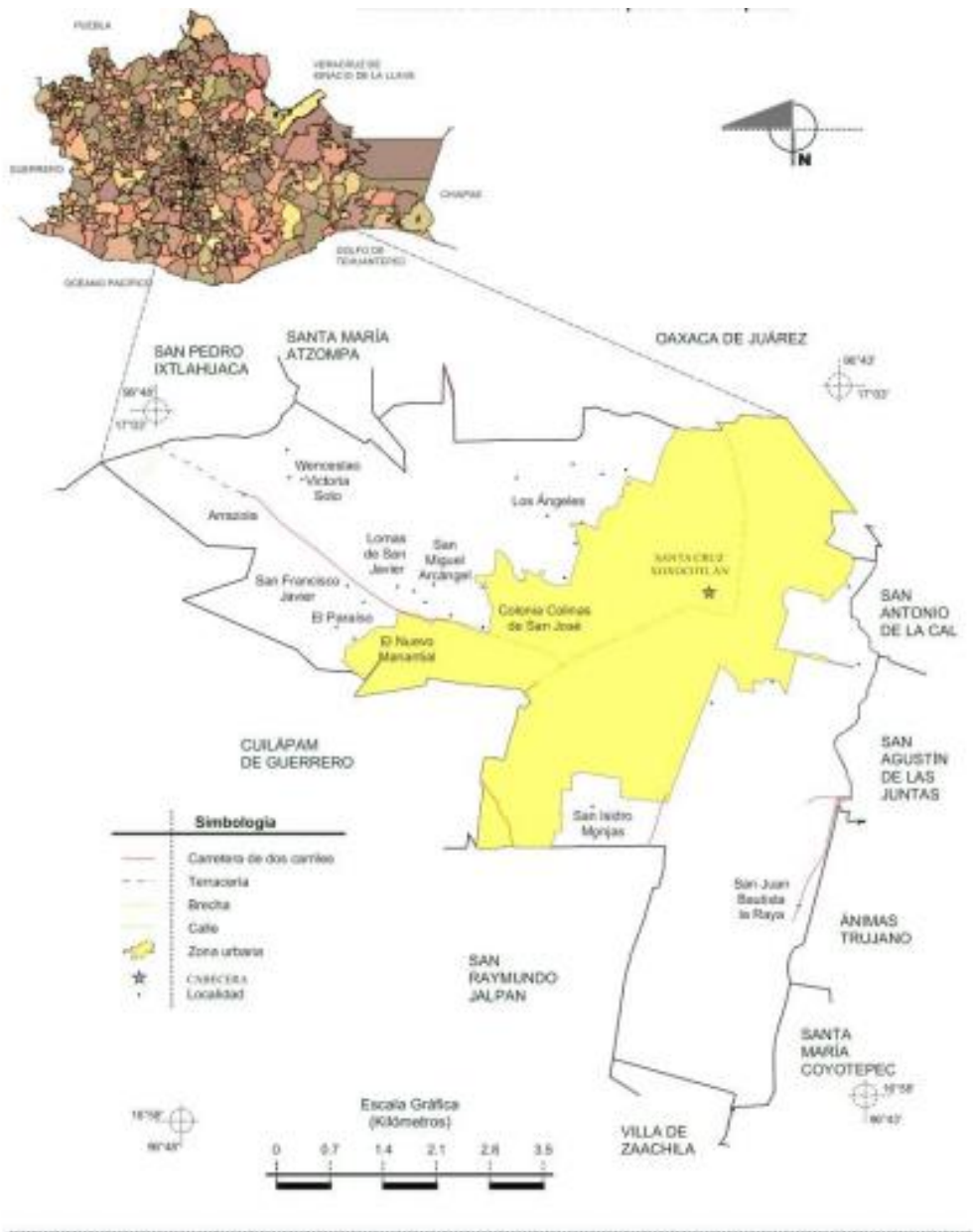
### 5.1.3 Localización y división territorial

El municipio de Santa Cruz Xoxocotlán se encuentra dentro del Estado de Oaxaca y se representa con el número 385 de los 570 municipios existentes en el Estado, se localiza en la región de Valles centrales y microrregión número 32 de acuerdo con el sistema de Planeación para el Desarrollo del Gobierno del Estado de Oaxaca (SISPLADE).

Tiene una superficie de 43.86 km<sup>2</sup> con una densidad poblacional de 2,124.7 habitantes por km<sup>2</sup>. Colinda al norte con los municipios de San Pedro Ixtlahuaca, Santa María Atzompa y Oaxaca de Juárez; al este con Oaxaca de Juárez San Antonio de la Cal, San Agustín de las Juntas, Ánimas Trujano y Santa María Coyotepec; al sur con los municipios de Santa María Coyotepec, Villa de Zaachila, San Raymundo Jalpan y Cuilápam de Guerrero; al oeste con Cuilápam de Guerrero y San Pedro Ixtlahuaca.

Como se muestra en la **Figura 1** ocupa el 0.05% de la superficie del estado y cuenta con 18 localidades y una población total de 15, 041 habitantes (INEGI, 2008).

Figura 1. Localización y división territorial del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán



Fuente: INEGI, Marco geoestadístico 2010, versión 4.3.

INEGI. Información topográfica digital 1:250, 000 serie III.

#### 5.1.4 Clima

El Sistema Meteorológico Nacional (SMN) con la estación meteorológica 00020079 reporta los siguientes datos que se muestran en la **Tabla 1**:

*Tabla 1. Información meteorológica del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán*

<b>Sistema de información del SMN con la estación meteorológica 00020079</b>	
Temperatura máxima anual	30.4°C
Temperatura media anual	22.0°C
Temperatura mínima anual	13.6°C
Precipitación anual	792.3 mm
Número de días con lluvia	105.7 días
Número de días con granizo	1.4 días
Número de días con tormenta	18 días

Fuente: Plan municipal de desarrollo de Santa cruz Xoxocotlán 2019-2021

Presenta un rango de temperatura de 18–22°C. El clima predominante es el semiseco semicálido (82.28%) sin embargo, presenta lluvias en verano con un clima semicálido subhúmedo (17.72%). Está clasificado como grupo B, los cuales son secos, en los que la evaporación excede a la precipitación, por lo que las lluvias no son suficientes para alimentar corrientes de agua permanentes. La **Tabla 2** muestra las características de este grupo.

#### 5.1.5 Hidrografía

El municipio se localiza en la subcuenca Atoyac-Tlapacoyan perteneciente a la cuenca hidrológica Río verde (región hidrológica 20 Costa Chica-Río verde), esta cuenca tiene unas coordenadas geográficas 15° 58' y los 17° 37'' de latitud norte y de los 96° 14' a los 98° 06' de longitud oeste y se encuentra distribuida en todo el territorio oaxaqueño.

Tabla 2. La clasificación climática BS1hw”g del municipio

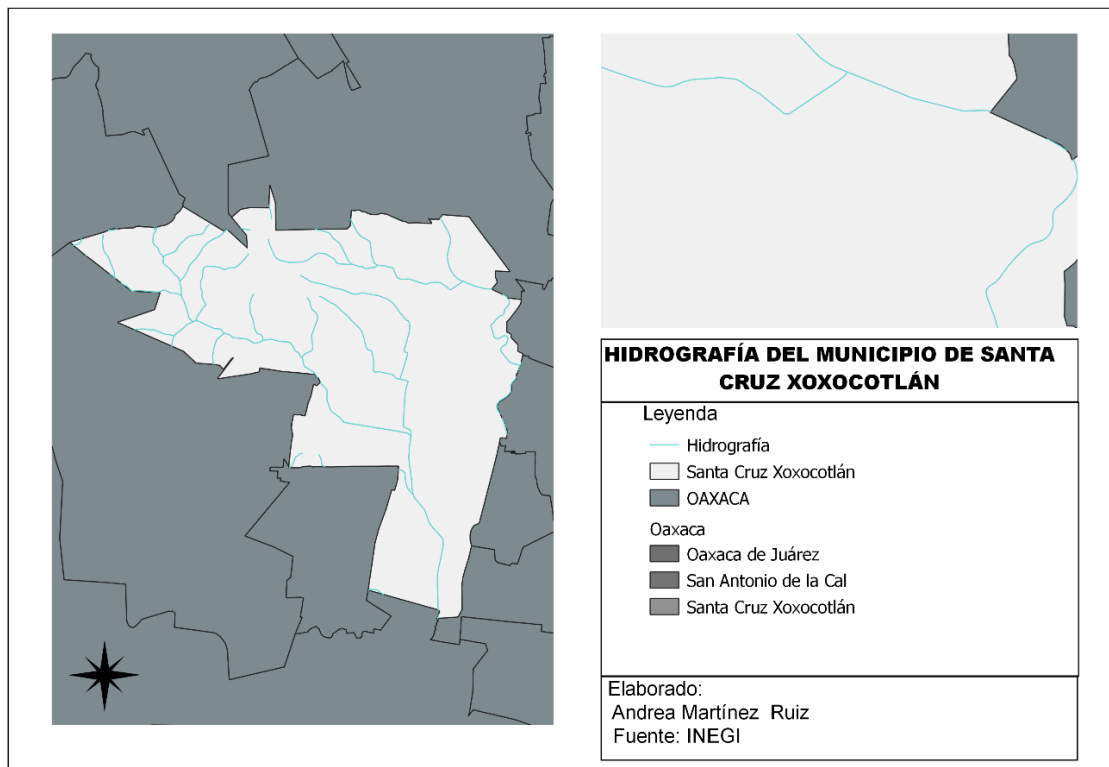
Clima	Descripción
BS <sub>1</sub>	Semiárido o seco estepario con régimen de lluvias en verano (la precipitación del mes más lluvioso de la mitad del año mayor de 10 veces que la del mes más seco El subtipo BS <sub>1</sub> se determinará por el coeficiente de precipitación/temperatura mayor que 22.9, en razón que se designa como el menos seco de esta clasificación.
H	Semicálido con temperatura anual entre 18 y 22 °C La temperatura media anual del mes más frío es bajo 18°C
w”	Presencia de canícula con dos máximos de lluvia separados por dos estaciones secas, una larga en la mitad fría del año y una corta en la mitad de la temporada de lluvias
G	Marcha de la temperatura tipo Ganges, esto es, el mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano y temporada lluviosa

Fuente: Plan municipal de desarrollo de Santa Cruz Xoxocotlán 2017-2018.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2019.

Las corrientes que se encuentran en el municipio son escasas y poco caudal, representadas principalmente por los ríos Nazareno, Atoyac y Valiente. El río Nazareno nace cerca del municipio de San Miguel Peras y recorre 40 km hasta convertirse en afluente del río verde que tiene una longitud de 437 km y es la principal fuente de agua superficial. Está formado por la confluencia del río Atoyac, considerado el canal principal, a una altura de 2,270 m desde el mar hasta Oaxaca de Juárez y al noroeste de la ciudad, corre de norte a sur a través de la capital del Estado; desciende a la ciudad y recorre los valles de Etlá, Zaachila-Zimatlán y Santa María Ayoquezcó, antes de seguir la ruta hacia el oeste hasta la costa de Oaxaca.

Debido a la compleja topografía de la Sierra Madre del Sur, el municipio presenta una gran cantidad de afluentes con caudales discontinuos. Las principales aplicaciones de esta corriente son en riego, ganadería y hogar. Sin embargo, es uno de los manantiales más contaminados del Estado debido a que recolecta y transporta la mayor parte de sus descargas de aguas residuales, principalmente del área metropolitana de Oaxaca.



*Figura 2. Hidrografía del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán y de la colonia Villas Xoxo II*

La cuenca utiliza aguas superficiales y subterráneas, siendo estas últimas las fuentes de agua más importantes para las necesidades de diversos grupos de usuarios, principalmente en la zona del Valle Central de Oaxaca.

### 5.1.6 Geología y Orografía

El municipio se localiza dentro de la provincia de Sierra Madre del Sur y la subprovincia de Sierras y Valles de Oaxaca, se caracteriza por tener terrenos que incluyen valles empinados, colinas y llanuras. Por otro lado, la estructura geológica de la roca es la

deposición de esquisto y el proceso de Metamorfismo Gneis ya que el suelo es de origen aluvial.

Las colonias del municipio se encuentran entre 1510m y 1642m (sobre el nivel del mar), mientras que en el cerro de Monte Albán que es el principal del territorio localizado al noroeste se encuentra a 1.920 m sobre el nivel del mar, donde se origina la cordillera de la Sierra Madre del Sur.

El periodo geológico de Xoxo es el cuaternario que se deriva de la era Cenozoica considerada como la más actual de la tierra donde se dio la formación del más del 50% de las reservas de petróleo, esta era terminó con el meteorito dejando un hundimiento que ahora corresponde a la península de Yucatán y el Golfo de México, afectando también el suelo de Oaxaca y de Santa cruz Xoxocotlán.

La conformación del suelo está dada por dos tipos de rocas, la primera son las sedimentarias, dentro de esta clasificación se encuentra la Lutita que es la “clásica” de grano muy fino, estas pueden ser rocas madre del petróleo y de gas natural, dentro de esta clasificación también se puede encontrar la Arenisca que es de color variable y tiene clastos del tamaño de la arena. El segundo tipo es la Metamórfica específicamente la roca Gneis que está compuesta por los mismos minerales que el granito, pero con orientación definida en bandas, con capas alternas de minerales claros y oscuros, lo que le da una apariencia bicolor.

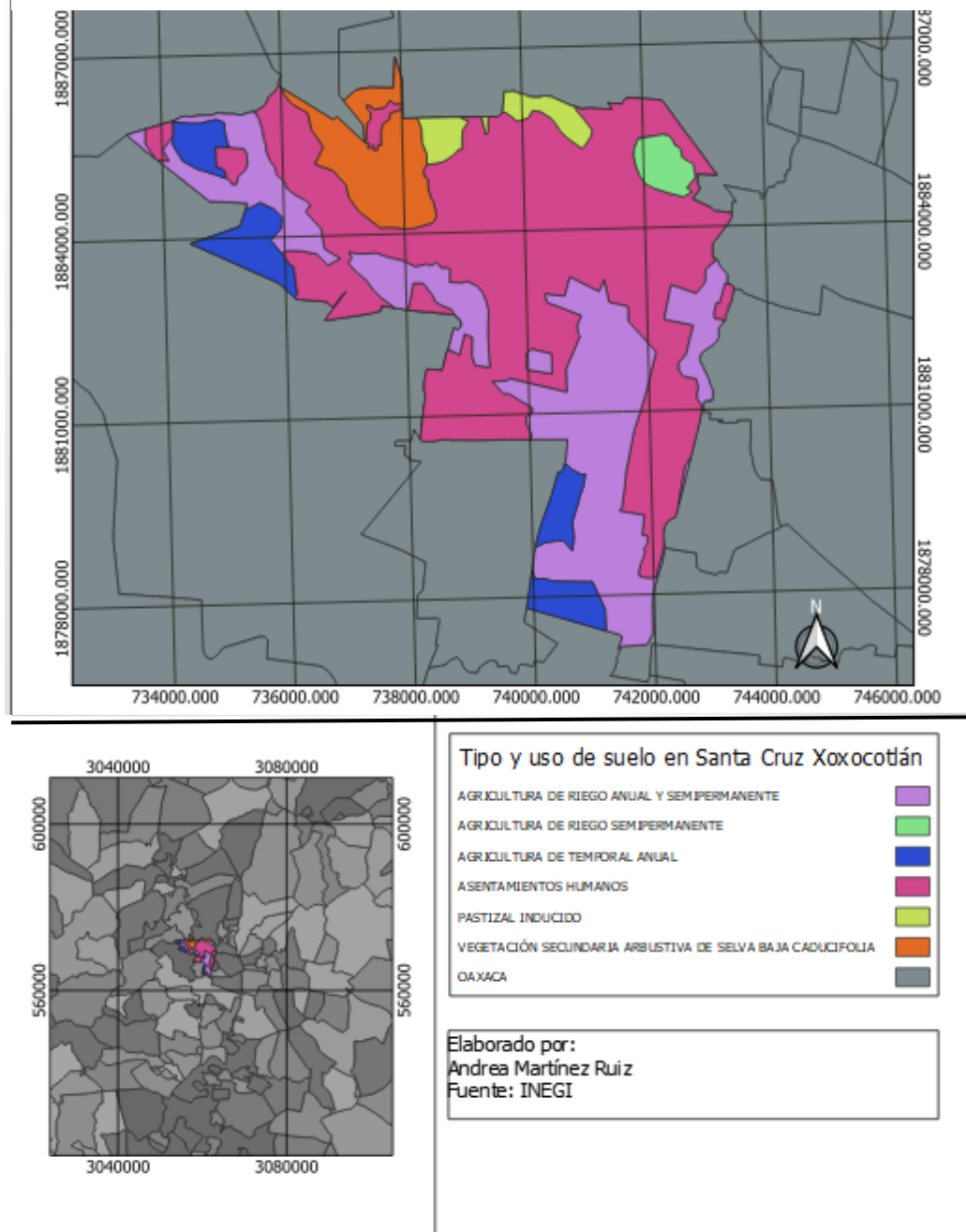
En la actualidad el suelo es de tipo Aluvial, poco evolucionado ya que son suelos recientes sin embargo son profundos, por lo general, este tipo de suelos aparecen a las orillas de los principales ríos ya que se forman por corrientes de agua sobre la superficie.

### **5.1.7 Tipo y uso de suelo**

Del 100% de los suelos en Santa Cruz Xoxocotlán el Vertisol representa 36.01% y Regosol 17.51%, en menor medida se encuentran el Leptosol 8.67% y Fluvisol 0.16%. Para el uso de suelo en la agricultura se estima en 38.43%, la zona urbana con una vegetación (37.65% y 23.92%) primaria y secundaria respectivamente, así como la

deforestación de las zonas urbanas, principalmente debido al desarrollo de recursos y actividades de vivienda realizadas como se muestra en la **Figura 3**.

*Figura 3. Tipo y uso de suelo en el municipio*



### **5.1.8 Flora y fauna**

Hace unos años, cada subcuenca regional o provincial tuvo su propia vegetación diversa. Actualmente, después de cientos de años de agricultura intensiva, casi no queda vegetación original, debido a que la intervención humana en la zona ha modificado el medio natural, provocando cambios físicos y ambientales.

Hoy en día, después de los cambios antropogénicos que se dieron por el uso de suelo la vegetación predominante son los matorrales xerófilos (seco), espinoso, inerme (sin espinas), parvifolio (hojas pequeñas); así como especies de cardonales, tetecheras, izotales, nopaleras y magueyales. Se pueden encontrar árboles y arbustos como el guamúchil, casahuates, copales y mezquites.

La fauna está conformada principalmente por tlacuaches, zorros, mapaches, conejos de monte, ardillas, reptiles y roedores. En las áreas más áridas se encuentran reptiles como las lagartijas, las culebras y víboras; aves como pájaros carpinteros, colibríes, gorriones y de algunas rapaces como aguilillas y gavilanes y determinadas zonas son refugio temporal de numerosas aves migratorias. Por otro lado, habitan insectos como avispas, chapulines, saltamontes, escarabajos y mariposas.

## **5.2 Características sociodemográficas del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán**

### **5.2.1 Demografía**

La población total del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda realizado en 2015 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, es de 93,188 habitantes que ocupan un 2.35% del total de población en el Estado de Oaxaca.

En la **Tabla 3** se muestran las estadísticas de la población total y por sexo del municipio.

*Tabla 3. Población por sexo*

Población por sexo	Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán	
	Personas	%
Población total	100,402	100.00
Hombres	47,016	47.01
Mujeres	53,386	53.38
Edad mediana	29	

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda. 2020.

### **5.2.2 Situación económica**

Según datos del Censo Económico (2019), los sectores económicos que concentraron más unidades económicas en Santa Cruz Xoxocotlán fueron Comercio al por Menor (1,598 unidades), Industrias Manufactureras (649 unidades) y Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas (594 unidades).

Por otro lado, el Censo de Población y Vivienda (2020) menciona que la población económicamente activa mayores de 12 años en el municipio es de 54, 175 personas que equivalen al 67.2% de los cuales se clasifica de acuerdo con el sexo como se muestra en la **Tabla 4**.

*Tabla 4. Población económicamente activa en Santa Cruz Xoxocotlán*

Indicador	Personas	%
Población femenina de 12 años y más económicamente activa	25,631	59.1
Población masculina de 12 años y más económicamente activa	28,544	76.7

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda (2020).

### 5.2.3 Vivienda

Para el municipio de Santa cruz Xoxocotlán se registraron como indicadores de viviendas los siguientes datos que se observan en la **Tabla 5**.

*Tabla 5. Indicadores de vivienda en Santa Cruz Xoxocotlán*

Indicador	Absolutos	%
Total de viviendas habitadas	27,498	100
Total de viviendas	36,225	100
Viviendas particulares habitadas	27,140	98.7
Ocupantes en viviendas particulares habitadas	100,338	99.9
Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas	-	3.6

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda. 2020

Del total de casas habitadas, se encontraron las características de las viviendas en el municipio (**Tabla 6**)

Para el caso específico de la colonia de Villas Xoxo II objeto de estudio en la investigación, existen un total de 360 son casas habitadas con una población total de 1,124 personas y un promedio de 3.16 habitantes por casa (INEGI, 2010). se muestran las características de las viviendas en la **Tabla 7**.

*Tabla 6. Características de vivienda en Santa Cruz Xoxocotlán*

Indicador	Absolutos	%
Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica	27055	98.6
Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	22437	81.7
Viviendas particulares habitadas que disponen de excusado o sanitario	25451	92.7
Ocupantes en viviendas particulares que disponen de drenaje y sanitario con admisión de agua	92322	92.1
Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje	26532	96.7

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda. 2020

*Tabla 7. Características de las viviendas particulares habitadas*

Indicador	Total
Con recubrimiento en piso	355
Con energía eléctrica	358
Con agua entubada	356
Con drenaje	357
Con servicio sanitario	395

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda. 2010

### **5.3 Residuos sólidos urbanos**

En el presente estudio se considera como residuos sólidos urbanos “Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que 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, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole”. (LGPIR, 2003).

Es importante recalcar el origen y el tipo de residuo necesarios para la creación de la gestión adecuada de éstos, los orígenes de los residuos son afines a el uso del suelo y la localización del sitio de estudio. El origen de estos incluye a los domésticos, comerciales, institucionales, construcción y demolición, servicios municipales y zonas de planta de tratamiento.

Siendo aquellos de origen doméstico los que se tomarán en cuenta para la investigación, estos residuos son el reflejo del consumo, los principales factores que causan la generación de RSU, son el índice de urbanización, tipos y los patrones de consumo, ingresos de los hogares y estilos de vidas.

SEMARNAT (2018) indica que en México el crecimiento de generación de RSU es consecuencia del gasto de consumo final privado y PIB nacional, con su excepción en aquellos Estados de la República Mexicana que la contribución a la producción total de RSU se desvía de la tendencia, en este caso se debe a que la actividad económica es un factor primordial en los datos, en el caso de aquellos Estados que cuenten con actividad industrial y petrolera importante.

Por otro lado, el informe también menciona que la generación de residuos está relacionada con la urbanización que engloba al poder adquisitivo de la población y esto trae como consecuencia a una mejor calidad de vida con altos niveles de consumo de bienes y servicios lo que produce una mayor cantidad de residuos. En el caso contrario, las zonas rurales el consumo se basa en productos que tienen menores proceso de

manufacturación y generalmente carecen de materiales que produzcan residuos (por ejemplo: los empaques). Esto da pauta a generar las estimaciones con base al tamaño de la población de cada localidad y su nivel económico.

La clasificación de los residuos sólidos urbanos que tiene por objetivo facilitar la separación primaria y secundaria según el artículo 18 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos se basa en la subclasificación en orgánicos e inorgánicos incluyendo en estos últimos aquellos residuos orgánicos de lenta degradación por ejemplo (papel, cartón, madera, textiles, etc).

### **5.3.1 Marco conceptual del plan de gestión integral de los residuos sólidos urbanos.**

Para la investigación se utilizarán los siguientes conceptos que se definen en la Ley General para la Gestión Integral de Residuos (LPGIR) y el reglamento de la misma Ley. Y se entienden por:

**Aprovechamiento de los Residuos:** Conjunto de actividades encaminadas a restaurar el valor económico de los residuos mediante la reutilización, el reciclado, la transformación, el reciclado y la recuperación en forma de materiales secundarios o energéticos.

**Contenedor:** Un contenedor transportable utilizado para el almacenamiento, transporte o eliminación de residuos.

**Disposición final:** El proceso mediante el cual los residuos son liberados permanentemente o confinados en lugares y objetos cuyas propiedades impiden que ingresen al medio ambiente y con ello afecten la salud pública y los ecosistemas y sus componentes.

**Generación:** La cantidad de residuos sólidos producidos por unidad de tiempo a partir de una fuente.

**Gestión Integral de Residuos:** Conjunto claro e interrelacionado de procedimientos organizacionales, operativos, económicos, de planificación, administrativos, sociales,

educativos, de seguimiento, auditoría y evaluación para la gestión de residuos desde la generación hasta la disposición final para garantizar que los beneficios ambientales y el desarrollo económico satisfagan las necesidades y circunstancias. Cada lugar o región responde a su liderazgo y aceptación pública.

**Lixiviado:** Fluido formado por la reacción, absorción o lixiviación de materiales generadores de desechos y que contienen sustancias en forma disuelta o suspendida que pueden filtrarse al suelo o salir del sitio de disposición final donde son recolectados. Los depósitos de desechos pueden contaminar la tierra y los cuerpos de agua, hacer que se deterioren y representar amenazas potenciales para la salud humana y otros organismos

**Manejo de Residuos:** Todos los procesos a los que se someten los residuos después de su generación, incluyendo la sedimentación, el almacenamiento, el transporte, el tratamiento y la eliminación.

**Reciclado:** Alternativo para los residuos inorgánicos que se da a través de diversos procesos para restaurar su valor económico y así evitar su disposición final, siempre que proporcione energía y materias primas sin dañar la salud, los ecosistemas o sus constituyentes.

**Recolección:** Es el proceso de recolectar los residuos sólidos de los rellenos sanitarios y acumularlos en instalaciones diseñadas para su transporte a estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento o sitios de disposición final.

**Residuo:** Sustancias o productos, líquidos o gaseosos, reciclables o que requieran tratamiento o disposición final en forma sólida o semisólida o en envases o recipientes desechados por el propietario u ocupante. De conformidad con lo dispuesto en la presente ley y demás disposiciones derivadas de la misma.

**Residuos sólidos urbanos:** Productos generados por la recolección de materiales domésticos y domésticos, los productos que consumen y sus envases, envases o embalajes. Residuos de otras actividades en el lugar de trabajo o en la vía pública relacionados con los residuos domésticos, así como de la limpieza de vías y espacios públicos.

**Separación Primaria:** Clasificación y reciclaje de los residuos sólidos domiciliarios en orgánicos e inorgánicos de conformidad con las disposiciones de LPGIR.

**Separación Secundaria:** Acción de segregar entre sí los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que sean inorgánicos y susceptibles de ser valorizados en los términos de esta Ley.

**Subproductos:** Los diversos componentes físicos de los residuos sólidos municipales que pueden reciclarse.

**Valorización:** Valor residual o calorífico de los materiales de desecho, corresponsabilidad, gestión integrada, beneficios ambientales, técnicos y económicos.

### **5.3.2 Impacto ambiental de los residuos sólidos urbanos**

Como se mencionaba anteriormente, respecto a la relación de la generación de residuos con el consumo y los diferentes factores causantes del incremento de RSU, la problemática implica analizar también el crecimiento económico, ya que esto repercute de forma positiva en la sociedad, sin embargo, es proporcional al crecimiento de generación per cápita de los habitantes.

Esto aunado a una mala gestión de los RSU puede causar la contaminación del sitio, por ejemplo, con la lixiviación de materiales o en los rellenos sanitario y tiraderos a cielo abierto. Así mismo SEMARNAT (2016) afirma que el manejo inadecuado de residuos genera una presión en el ambiente con respecto al volumen de generación y a su vez al uso de productos sostenibles que se relaciona con el uso de los recursos naturales para la generación de materia prima y la demanda energética que necesita cada producto, esto es consecuencia de las actividades cotidianas que van desde la producción de alimentos, fabricación y el consumo de bienes en el hogar generan residuos que, dependiendo de la composición, tasa de generación y el manejo pueden tener impactos al ambiente.

El impacto ambiental de la disposición incorrecta de los residuos es la contaminación aire, ya que el proceso de descomposición de los residuos orgánicos

genera gases tóxicos como el dióxido y monóxido de carbono ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ , respectivamente), metano ( $\text{CH}_4$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y compuestos orgánicos volátiles (como benceno y acetona) que también liberan malos olores y algunos se consideran gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático.

La contaminación de agua y suelo se da a través del agua de lluvia que pasa por los sitios de disposición final, así como los lixiviados que llevan una cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas que terminan en los suelos y cuerpos de agua. Otra fracción de estos lixiviados son degradados por microorganismos que producen sustancias ácidas o básicas, como ácidos orgánicos y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), que provocan desbalance en el pH del medio. Asimismo, otras fracciones de lixiviados son tóxicas, por lo que afectan directamente el equilibrio del suelo. (Vian & García, 2019).

En el caso de los residuos que se encuentran en cuerpos de agua como las aguas superficiales afectan directamente la calidad y estructura del hábitat (Fatta *et al.*, 2000) mientras las superficiales de lo que se hablaba pueden contaminarse por la infiltración de los lixiviados. Existen algunos materiales que incrementan el nivel de contaminación debido a la toxicidad que presentan los residuos como son las pilas y baterías (SEMARNAT-INE, 2004).

Otra parte es la acumulación de los desechos en los drenajes que obstruyen el flujo del agua pluvial en época de lluvias, mientras que en la temporada seca los residuos se quedan estancados y aumentan la posibilidad de proliferación de vectores o de fauna nociva que tiene impacto en la salud de la población.

En el ámbito social, el problema generado por la mala gestión de residuos se debe a las enfermedades transmitidas por vectores que se originan debido a la dispersión de los residuos que al descomponerse atraen fauna nociva para la salud humana; el otro problema es que se requieren grandes extensiones de tierra para la disposición final de residuos y al aumentar la población y por consecuencia los residuos se necesitan más espacios asignados para los mismos lo que tiene como consecuencia que estén cada vez más cerca de los asentamientos poblacionales.

### 5.3.3 Antecedentes de los residuos sólidos urbanos en México

El crecimiento de la población, urbanización, economía e industrialización es equivalente al aumento en la generación de residuos, por lo que se vuelve un reto cada vez mayor manejar los RSU en México. Wehenpohl *et al.*, 2004 revela que, en los años 50, la generación promedio RSU era de 8,200 t/día, que fue en aumento a más de 109,00 t/día en el año de 2010 y 120,128 t/día para 2020 (DGBIR, 2020) esto muestra que el aumento ha sido de 13 veces en seis décadas y también refleja el crecimiento en los últimos 10 años. El problema no es solo el aumento en el volumen de los residuos sino también en su composición, que si bien, sigue predominando la parte orgánica, el material que requiere algún proceso químico, físico o biológico para degradarse ha aumentado en porcentaje.

Hernández en (2018) dimensiona que la problemática del consumismo en la modernidad implica que las soluciones estén orientadas a la modificación en el patrón de comportamiento del consumo y afirma que no se ha planteado de esta forma, ya que desde la mitad del siglo XIX cuando se comenzó a prestar atención a este hecho, debido a que las políticas están orientadas al manejo de los residuos y no a disminuir su generación.

Así mismo, explica que el tema de residuos ha evolucionado desde mitad del siglo XIX donde se contempló como algo inevitable, en el siglo XIX se considera también como tema de salud y no fue hasta siglo XX en los años 60 y 70 que se identificó el problema desde el enfoque ambiental (donde se incluye la valorización en materiales susceptibles de aprovechamiento). Todo esto demuestra que los instrumentos de política en México se creaban desde una perspectiva económica según los intereses de cada época, ya que de forma indirecta o directa se rigen por el consumo más que por una solución objetiva que incluya la disminución y minimización como parte de la solución.

En el artículo de análisis estadísticos sobre los residuos sólidos urbanos Carrasco & Rodríguez (2015) indican que el primer diagnóstico básico se llevó a cabo

en 2006 por el Instituto Nacional de Ecología (INE) ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) el objetivo del diagnóstico fue recabar información y estadísticas que permitieran la toma de decisiones en las políticas públicas de residuos.

Se determinó que la generación de RSU para el 2006 fue de 94, 800 toneladas diarias, equivalente a 34.6 millones de toneladas anuales, con una composición aproximada de 53% de materia orgánica; 28%, de residuos potencialmente reciclables y 19%, de no aprovechables. Así mismo se registró que se recolectaba 87% de los residuos generados y, de éstos, 64% se enviaba a los 88 rellenos sanitarios y 21 sitios controlados; el porcentaje restante se depositaba en tiraderos a cielo abierto sin control.

Posteriormente, el INEGI en el 2009 trabajó en conjunto con la SEMARNAT para realizar un diagnóstico de la situación del país en este tema, a partir del cual se formó la propuesta del cuestionario de RSU, aplicado a los municipios de cada entidad federativa en el 2010 generando, así, los primeros resultados a nivel nacional, para dar aprovechamiento a los registros administrativos en materia de RSU.

El cuestionario después se incorporó como un módulo de los censos de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011 y 2013, a partir de eso, se actualizaron las cifras y se conoció a mayor detalle las estadísticas de generación y clasificación de residuos. En la actualidad esa información ha sido muy relevante a lo largo de los años que se ha implementado de forma permanente y se considera básica para la formación de nuevas políticas públicas con el propósito de la mejora continua del sistema de gestión integral de RSU.

#### **5.3.4 Gestión de los residuos sólidos urbanos**

La gestión integral de residuos sólidos urbanos se define como:

“El conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la

disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región” (DOF, 2003).

Por tanto, es una herramienta que permite el control de las etapas de generación, almacenamiento, transporte, procesamiento y disposición final de RSU, con el fin de tomar en cuenta aspectos de salud, economía, ingeniería, conservación y estéticas que permitan la disminución de impactos socioambientales negativos.

El proceso de gestión es complejo ya que requiere la participación de diversos sectores, con responsabilidad compartida. Macías, *et al.* (2018) afirman que una gestión ineficiente limita la capacidad de poder cumplir con los objetivos de sustentabilidad, pero para el estudio de esta problemática es necesario separar los impactos que tienen los residuos y los obstáculos que no permiten la implementación de una gestión adecuada, de esa forma se comprenderían las causas de los riesgos de salud, sociales, políticos que enfrentarían la población y gobiernos responsables.

Las consecuencias de políticas ineficientes impactan de forma negativa la calidad de vida de la población tanto en la salud de los habitantes como en el medio ambiente en el que habitan, por lo que es importante considerar estos dos factores al implementar las políticas en materia de residuos (UNHABITAT, 2010).

McAllister, (2015) describe a los principales factores que afectan la eficacia de la implementación de estas políticas y programas de gestión, clasificándolas en tres categorías. La primera categoría es la cultura, educación y situación económica de la comunidad, el éxito de la implementación de una política de gestión depende de la colaboración de la población que reside en las viviendas, organizaciones civiles, sectores informales y la academia.

La educación y cultura ambiental son una herramienta muy importante para la participación en la implementación de las políticas, los programas de capacitación y educación continua, por lo que mejoran este proceso y permiten conocer una visión de minimización, reúso y reciclaje que forman parte de los ejes de la gestión integral de residuos haciendo énfasis en presentar la información desde un contexto cultural

apropiado. Es decir, el cambio de comportamiento y la prevención de residuos de residuos debe diseñarse teniendo en cuenta la conveniencia, basándose en las necesidades de la población actual.

Siguiendo con la segunda categoría se encuentra la situación económica de la población, el grado de marginación es reflejo de la interacción de los pobladores con los residuos (Macías *et. al*, 2018).

Las características socioeconómicas (especialmente la riqueza) pueden determinar actitudes como la capacidad o la voluntad percibidas de reciclar los residuos sólidos urbanos, pero estas actitudes pueden verse influidas positivamente por las campañas de concientización y las medidas educativas.

Por otro lado, la expresión territorial de la marginación con la falta de acceso a una infraestructura y financiamiento para adoptar las medidas de prevención y disposición de los residuos donde se ve inmersa la segunda al tratarse de la infraestructura, la previsión social y la tecnología.

McAllister, (2015) concluye que el rápido crecimiento de la población ha creado una serie de problemas extremos de planificación del uso del suelo y de infraestructuras que han mermado la capacidad de los gobiernos nacionales y municipales para aumentar los niveles de servicios de gestión al ritmo que se demandan.

En el sistema municipal de gestión de residuos sólidos de los países en desarrollo se pueden identificar áreas problemáticas típicas. Estos pueden ser descritas como: 1) limitaciones presupuestarias, 2) cobertura inadecuada de los servicios e ineficiencias operativas de los servicios, incluida la mano de obra no cualificada, 3) tecnologías y equipos ineficaces, 4) eliminación inadecuada en los vertederos, y 5) utilización limitada de las actividades de reducción de residuos, como el reciclaje de residuos (Périou, 2012).

Y en la última categoría se refiere a las políticas, instituciones y macroeconomía donde es necesario prestar atención a las siguientes cuestiones no tecnológicas con respecto a la gestión de los residuos sólidos: la política nacional, la capacidad

institucional, la actividad reguladora, la formación del personal y la estabilidad financiera. Cualquier cambio sustancial en la gestión de aguas residuales no es posible sin una estrecha cooperación entre el gobierno, el sector privado y los ciudadanos. El apoyo financiero del gobierno central, el interés de los dirigentes municipales en la gestión de residuos, la participación de los usuarios de los servicios y la correcta administración de los fondos son esenciales para un sistema de residuos sostenible y modernizado (Troschinetz & Mihelcic, 2009).

En México, el diagnóstico básico de gestión integral de residuos se utiliza por los gobiernos, en cualquier nivel, para desarrollar y crear políticas en la gestión de residuos, incluye la planeación de la infraestructura que contribuye a la mejora del servicio público de recolección y disposición, la valorización de residuos fundamentado en la reutilización y reciclaje con responsabilidad compartida y diferenciada entre los sectores sociales, productivos y los órdenes de gobierno.

Otro de los ejes primarios se basa en la prevención y minimización de los residuos, que tiene como objetivo el bienestar social y la reducción de la desigualdad. Para el sector productivo se consideran modelos de negocios sustentable y la economía circular que consideren 5 acciones predominantes para cumplir con este modelo que son la mejora de servicios, valorización material y energética, inspección y vigilancia, creación de organismos operadores y generación de cadenas productivas para el aprovechamiento (DBGIR, 2020).

### **5.3.5 Gestión de residuos sólidos urbanos en Oaxaca**

La gestión de los residuos municipales es un desafío para los municipios y, a pesar de los esfuerzos por brindar este servicio público, la mayoría enfrenta dificultades en términos de financiación, capacitación técnica, planes de gestión de residuos. Los factores que dan lugar a una mala gestión inciden directamente en la calidad de vida de las personas debido al creciente impacto ambiental (SEMARNAT, 2017).

Para el sistema de recolección los municipios son los encargados de la recolección y disposición final. El Programa Estatal para la Prevención y Gestión

Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Oaxaca (PEPGIRS) plantea que existe deficiencia del sistema en las ciudades que tienen el servicio turístico (Oaxaca de Juárez, Huatulco y Puerto Escondido) y en aquellos municipios que la administración se basa en usos y costumbres. Por otro lado, menciona que no hay información específica en municipios de censos o muestreos para desarrollar las políticas correspondientes, por lo que se considera como un área de oportunidad en el Estado.

El DBGIR en (2020) declara que en Oaxaca se estima una generación de 3,538 t/día con un peso volumétrico promedio de 154.09 kg/m<sup>3</sup> con un 44.05% de residuos orgánicos y 33.78% de residuos aprovechables, destacando que solo el 46% de los residuos son recolectados, mientras que el otro porcentaje tiene una disposición final en los 203 sitios registrados.

La Secretaría de Medio Ambiente, Energía y Desarrollo Sostenible de Oaxaca (SEMADESO) propone en su plan estratégico sectorial de medio ambiente 2016-2022 que el programa de gestión de RSU contemple el manejo integral de residuos, así como contar con sitios de disposición final adecuados y mitigar así los impactos negativos al ambiente.

El programa tiene el objetivo de implementar las políticas públicas con apego a la normatividad ambiental a través de sus tres estrategias, basadas en la validación de las herramientas de planeación del manejo integral de RSU a partir de evaluaciones para asegurar el cumplimiento legal, asesorías a los municipios y la implementación de infraestructura de la disposición final adecuada que incluyan los rellenos sanitarios, centros de acopio, plantas tratadoras de residuos, etc.

### **5.3.6 Gestión en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán**

En el último Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021 que realizó INEGI muestra que el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán si cuenta con el servicio de recolección de residuos que está

registrado con un prestador de servicio público y cuenta con 9 vehículos con compactador.

Se estiman 88,000 kg diarios recolectados con el registro de un prestador público del servicio, sin embargo, no hay información sobre las prácticas de disposición final que se realizan, ni para la información básica de generación per-cápita y de productos y subproductos.

#### **5.4 Marco legal en materia de residuos sólidos urbanos en México**

El marco legal en México está conformado por tres órdenes de gobierno que son el federal, estatal y municipal en materia de residuos se tomarán en cuenta la normatividad que se desglosa a través de la constitución política de los Estados Unidos mexicanos seguido de sus leyes, normas y reglamentos.

De igual forma, en el orden estatal se aplica la legislación del Estado de Oaxaca ya que regula la jurisdicción en materia de residuos con el objetivo de prevenir y controlar los impactos que causa su generación.

El artículo 15 de la constitución menciona que los municipios tienen a su cargo los servicios de limpieza que incluye la recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos, para este estudio se tomó en cuenta los reglamentos del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán ya que las disposiciones que expiden los ayuntamientos comprenden las reglas dirigidas específicas hacia la prestación del servicio público de aseo urbano, básicamente centradas en su operación, así como responsabilidades de los órganos municipales.

##### **5.4.1 Normatividad federal**

###### *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LPGIR)*

Es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional” (Diputados et al., 2007, p.1).

Art 10. Derivado del artículo 15 de la constitución la LPGIR menciona las funciones de las que se encargarán los municipios en materia de residuos sólidos urbanos para llevar el manejo integral desde la recolección hasta la disposición final.

#### *Ley general de salud*

Establece las disposiciones relacionadas al servicio público de limpia en donde se promueve y apoya el saneamiento básico, se establecen normas y medidas tendientes a la protección de la salud humana para aumentar su calidad de vida.

#### Reglamento de LPGIR

Define al reglamento como parte complementaria del LPGIR, que rige en el territorio nacional, correspondiendo al ejecutivo federal por medio de la SEMARNAT.

#### *Normas Oficiales Mexicanas (NOM)*

En las NOM, se encuentran la información y requisitos que se deben cumplir de acuerdo con cada dependencia gubernamental para llevar un control de procedimientos y parámetros establecidos que no generen un impacto negativo. En el caso de SEMARNAT, emite ciertas normas en materia de residuos para evitar que causen un riesgo a la población y así como que la dispersión de los contaminantes generados por los mismos pueda dañar significativamente el ambiente como se muestran:

NOM-083-SEMARNAT-2003. Expone las características que debe cumplir el sitio de disposición final de residuos sólidos y de manejo especial, desde la selección del sitio, el diseño de construcción operación, monitoreo y clausura.

NOM-098-SEMARNAT-2002. Como parte del tratamiento de residuos la NOM específica como debe llevarse a cabo la operación de la incineración de residuos y marca los límites de emisión de contaminantes.

#### *Normas mexicanas (NMX)*

La caracterización de los residuos sólidos urbanos se realiza a través de diferentes parámetros que se consideran para la toma de decisiones acerca del manejo de

residuos, a través de las Normas Mexicanas (NMX) que son documentos que tienen el objetivo de mejorar los procedimientos y prácticas al proporcionar las recomendaciones estandarizadas para realizarlas (Navarro, 2022). En este caso existen diferentes normas referentes al estudio de la caracterización de RSU, que se muestran a continuación:

NMX-AA-015-1985. Propone una metodología para llevar a cabo el muestreo de los residuos sólidos desde la fuente de generación, así como el método de cuarteo que se utiliza para pruebas posteriores.

NMX-AA-016-1984 Establece el método para determinar el porcentaje de humedad de la muestra de residuos, el método consiste en la pérdida de peso que sufre la muestra sometida a distintas condiciones, originadas por la eliminación de agua.

NMX-AA-018-1984. Plantea la metodología para la determinación de cenizas en los residuos.

NMX-AA-019-1985. Define el método para determinar el peso volumétrico en los RSU, la muestra que se utilizará será proveniente del método de cuarteo con base a la NMX 015.

NMX-AA-021-1985. Método para la determinación de materia orgánica

NMX-AA-022-1985. Método para la identificación y cuantificación de productos y subproductos de acuerdo con la clasificación establecida en la presente NMX.

NMX-AA-024-1984 Determina el método de Kjeldahl para conocer la cantidad de nitrógeno total contenido en los RSU, el procedimiento convierte los componentes del nitrógeno oxidado de nitratos a nitritos a nitrógeno reducido a sulfato de amonio.

NMX-AA-025-1984. Establece el método potenciométrico que determina el pH basado en la actividad de los iones de hidrógeno presentes en una solución acuosa de residuos sólidos al 10%.

NMX-AA-031-1976. Establece el método para conocer la concentración de azufre, por medio de una transformación de azufre a ácido sulfúrico durante la combustión de RSU en el interior de una bomba calorimétrica.

NMX-AA-052-1985. Menciona el método de preparación de las muestras de residuos sólidos urbanos para el análisis en el laboratorio.

NMX-AA-061-1985. Especifica el método para determinar la generación a partir del muestreo estadístico aleatorio, para esta norma solo se toman en cuenta los residuos domésticos (generados en casas-habitación)

#### **5.4.2 Normatividad para el Estado de Oaxaca**

##### *Constitución política del Estado libre y soberano de Oaxaca*

Los artículos que competen en la constitución son el 12, 19, 80, 113 que se basan en el derecho a vivir en un ambiente que permita el bienestar y desarrollo de la sociedad con la aplicación de políticas y acciones orientadas a la función del servicio de limpieza en el Estado.

##### *Ley municipal para el Estado de Oaxaca*

La ley establece en los artículos 142 y 143 que los municipios serán encargados del servicio público de limpieza y podrán prestar servicios mediante el otorgamiento de concesiones.

##### *Ley del equilibrio Ecológico y la protección al ambiente del Estado de Oaxaca.*

La ley en sus artículos 4 y 17 establecen que los sistemas de recolección incluyen recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos y deberán someterse a una evaluación de impacto ambiental.

##### *Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos del Estado de Oaxaca*

Decreta en los artículos 4,6 y 10 que las políticas en temas de gestión integral estarán regidas bajo esta ley y el campo de aplicación será dentro del territorio del Estado, por otro lado, la institución encargada en materia de residuos será la SEMAEDESO.

### **5.4.3 Normatividad en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán**

*Plan municipal de desarrollo urbano 2019-2021.*

Plantea objetivos para la mitigación de impactos generados por los RSU mediante estrategias de educación ambiental y la planeación para crear un centro de acopio que permita la valorización de los residuos reciclables.

Por otro lado, los reglamentos que rigen en materia de residuos son los de salud pública, servicios públicos y ecología y medio ambiente. Estos establecen las obligaciones de los órganos municipales y de la población.

Entre estas obligaciones se encuentran la separación de residuos, el servicio de recolección que incluye la administración de los vehículos recolectores, la colocación de contenedores y la disposición final de los residuos.

### **5.5 Aprovechamiento y valorización de residuos**

*Valorización de residuos inorgánicos*

Existen residuos que no sufren un proceso de descomposición tan acelerado como los de origen biológico y por lo tanto su manejo es diferente, existen alternativas a este tipo de residuos, como el reciclaje y el reciclaje.

La LPGIR establece el “principio de valorización de los residuos” que menciona el conjunto de acciones necesarias para que los residuos pueden adquirir valor en el ciclo de vida de un nuevo producto, esto disminuiría la cantidad de RSU que se disponen, disminuyendo los impactos derivados de los sitios de disposición final. Y a su vez, evitaría el consumo de materia prima que implica un gasto de energía y recursos naturales. Otro punto de la ley se enfoca en la correcta separación de los residuos como punto clave para la valorización de estos, considerando esta acción dentro de los programas de manejo integral para la gestión integral de residuos.

García, (2006) afirma que el reciclar residuos inorgánicos es muy importante para reducir el consumo de energía y de materias primas. Existen lugares que se dedican exclusivamente a la compra de cartón, el papel, el metal y el PET, y hay planes

gubernamentales para disponer de estos residuos y cuidar su uso futuro y evitar la extracción de materias primas para la producción.

El personal de los camiones recolectores lleva a cabo también una recuperación de materiales directamente de la basura que recolectan. Estos materiales seleccionados son almacenados en el camión por separado y posteriormente vendidos, siendo el personal de estos vehículos los directamente beneficiados con los ingresos que obtienen de esta venta a un intermediario.

En las primeras etapas de la recuperación de material, el generador procesa directamente un porcentaje mínimo del material recuperado. En el caso de la presente investigación el generador obtiene también beneficios económicos, aunque en menor grado, debido a la cantidad.

La forma que mejoran algunas delegaciones o municipios es la separación de los materiales aprovechables directamente en la fuente de producción, principalmente en las escuelas. Esta práctica se está llevando a cabo con algunos problemas, básicamente de transporte y de mercado, pero se están estudiando las alternativas para solventarlos.

#### *Aprovechamiento de residuos orgánicos*

Los residuos orgánicos están compuestos por material biodegradable con un potencial alto de aprovechamiento, en este caso es necesario separarla desde la fuente de origen para poder ser utilizada en proceso de compostaje o digestión anaerobia para obtener composta y biogás. Para el primer caso, el compostaje consiste en la degradación de la materia orgánica en presencia de aire (aerobia) mientras que la digestión anaerobia se realiza en un digestor en ausencia de oxígeno. El biogás tiene un porcentaje de 45-60% de CH<sub>4</sub> y 40-60% de CO<sub>2</sub>, por medio de motores de combustión interna se quema generando electricidad en un generador eléctrico acoplado.

### **5.5.1 Compostaje**

La composta es un fertilizante orgánico que se forma como resultado de la descomposición de sustancias en capas por microorganismos y en el proceso de descomposición. Los microorganismos que degradan o mineralizan el material están naturalmente presentes en el medio ambiente; este método de hacer fertilizante es económico y fácil de usar.

El compostaje brinda la oportunidad de transformar de manera segura los desechos orgánicos en materias primas para la producción agrícola. La FAO define como compostaje a la “mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes” (Portal Terminológico de la FAO, FAOTERM3). Para este estudio se tomará en cuenta la definición de pila que es el resultado de las capas o mezcla de los materiales con la proporción de suelo, partes de restos de poda y material orgánico.

#### **5.5.1.1 Etapas del compostaje**

Román, et al. (2013) clasifican y describen las etapas del compostaje como se muestra a continuación:

##### **1. Fase Mesófila.**

Al material orgánico a compostar se agrega al huacal o la zanja en cada caso a temperatura ambiente y durante el proceso y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan el carbono y nitrógeno como fuente de alimento y la descomposición de estos nutrientes genera calor.

Para el pH la descomposición de compuestos solubles, como azúcares, producen compuestos ácidos que bajan el pH (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

##### **2. Fase Termófila.**

Cuando la sustancia alcanza una temperatura superior a 45 °C, los microorganismos que crecen a temperaturas moderadas (microorganismos de tamaño mediano) son reemplazados por microorganismos que crecen a temperaturas más altas, en su mayoría bacterias termófilas, estas facilitan la degradación de compuestos complejos de carbono como la celulosa y la lignina.

Así mismo, transforman el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. A partir de los 60 °C aparecen bacterias formadoras de esporas y actinomicetos, responsables de la degradación de ceras, hemicelulosas y otros compuestos de carbono. La duración es de pocos días hasta varios meses dependiendo de la materia prima que se agregó a la composta, el clima, las condiciones del sitio y otros factores.

### 3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II.

Una vez agotadas las fuentes de carbono y nitrógeno la temperatura desciende hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y pueden aparecer algunos hongos que son visibles en la superficie de la composta.

Cuando la temperatura desciende los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino (6-8). Esta fase de enfriamiento dura varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

### 4. Fase de Maduración.

Es un período que demora meses a temperatura ambiente (20°C-25°C), durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos. Para el caso del pH se eleva ligeramente como consecuencia del aumento de la concentración del ión amonio, al estabilizarse la pila con los materiales el pH se sitúa entre 7 y 8 (Carnes & Lossin, 1970).

En la **Figura 4** se observa la evolución de los parámetros de temperatura y pH de acuerdo con la etapa en la que se encuentre el compostaje, esto se debe principalmente a la actividad microbiana, ya que al descomponer los restos orgánicos

las etapas mesofílicas, termofílicas, de enfriamiento y maduración muestran cómo los diferentes organismos cambian los parámetros de temperatura y pH en la composta.

Para la temperatura, el inicio de la composta comienza con temperatura ambiente y después hay un aumento de temperaturas menores a 40°C en donde existe una degradación de azúcares por bacterias como (*Bacillus* y *Thermus*), posterior a eso existe un aumento mayor a los 60°C, consecuencia de la degradación de ceras, polímeros y hemicelulas por algunos hongos del grupo Actinomicetos (*Micromonospora*, *Streptomyces* y *Actinomyces*)

La descomposición mesofílica o de enfriamiento de nuevo se reduce de nuevo a temperaturas <40°C resultado de la descomposición de celulosas y ligninas por bacterias y hongos (*Aspergillus* y *Mucor*) y por último la fase de maduración estabiliza la composta a temperatura ambiente desapareciendo la fitotoxicidad y disminuye el consumo de oxígeno.

En el caso del pH se puede observar en la gráfica un descenso inicial que se debe a la producción de CO<sub>2</sub> y liberación de ácidos orgánicos que se obtiene partir de la descomposición del material orgánico por bacterias (Gram negativas, Gram positivas, Actinomicetos y algunos hongos), posteriormente en la fase termofílica se libera amoníaco a partir de la degradación de aminos que derivan de las proteínas y bases nitrogenadas, por lo que el pH se eleva (6-7.5). El incremento del pH tras la liberación de nitrógeno da paso a la fase de maduración, en donde el pH entra a una fase estacionaria y se encuentra próximo a la neutralidad ya que la materia se estabiliza y se dan reacción de policondensación (Mustin, 1987).

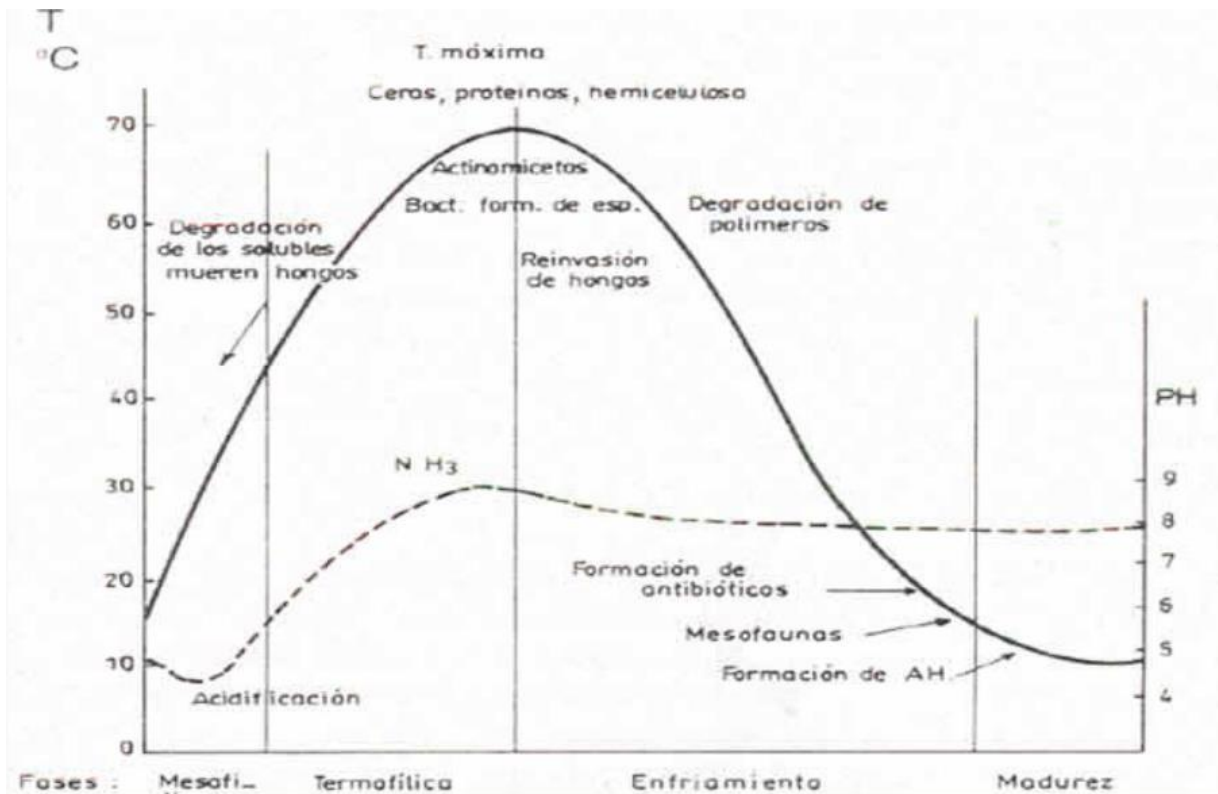


Figura 4. Etapas del compostaje y evolución de los parámetros durante el proceso

Fuente: Costa et al., 1995.

### 5.5.1.2 Parámetros durante el compostaje

Durante el proceso de compostaje existen algunos parámetros que afectan el sistema, por lo que es necesario llevar un control a través de la medición de estos de tal forma que permita conocer si se encuentran dentro de los intervalos establecidos para que no afecten el correcto desarrollo de la composta durante cada fase del proceso. Jeris, (1973) clasifica los parámetros de temperatura, humedad, pH y oxígeno como de seguimiento y los valores obtenidos estarán determinados por las condiciones ambientales, el tipo de residuo y el sistema de compostaje seleccionado.

La importancia de los parámetros está relacionada directamente con la función que tenga para los microorganismos encargados de llevar a cabo la descomposición del material orgánico, que se definen por:

## Oxígeno

El compostaje es un proceso aeróbico y se debe proporcionar una ventilación adecuada para permitir la respiración microbiana. La aireación evita que el material se compacte o se encharque, la necesidad de oxígeno va a variar durante el proceso y es en la etapa termofílica donde demanda mayor cantidad de oxígeno.

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. La aireación da como resultado temperaturas más bajas y una mayor pérdida de agua por evaporación, lo que hace que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.

## *Humedad*

La humedad es un parámetro que está vinculado a los microorganismos, ya que, como todos los seres vivos, usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas.

Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material.

El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base.

## *Temperatura*

Dependiendo de la etapa del proceso, la temperatura puede variar significativamente. La composta comienza a temperatura ambiente y alcanza los 65°C (calentamiento externo), alcanzando nuevamente la temperatura ambiente durante la maduración. Se espera que la temperatura no disminuya demasiado rápido, ya que la tasa de degradación y esterilización será mayor a temperaturas y tiempos más altos.

## *pH*

El pH del compostaje depende de los materiales utilizados en la composta y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En las primeras semanas del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos.

Debido a la conversión de amonio en amoníaco en la fase termófila, el pH sube y el ambiente se vuelve alcalino, estabilizándose finalmente en un valor cercano a la neutralidad. El pH determina la tasa de supervivencia de los microorganismos, y cada grupo tiene un nivel de pH óptimo para el crecimiento y la reproducción. La actividad bacteriana más alta ocurre a un pH de 6.0 a 7.5, mientras que la actividad fúngica más alta ocurre a un pH de 5.5 a 8.0. El rango ideal está entre 5.8 y 7.2.

### **5.5.1.3 Aplicación de la composta**

La composta se puede aplicar semimadura o ya maduro. La composta semimadura tiene una mayor actividad biológica y los nutrientes de las plantas se absorben más fácilmente que cuando está madura. Por otro lado, al tener un pH no estable aún (pH ácido), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas.

La composta aporta materia orgánica al suelo por lo que se puede utilizar para la fertilidad de este, además de que aporta nutrientes como (N, P, K, Ca, Mg y oligoelementos). Generalmente se usa en gran medida para plántulas, jardineras y macetas donde se suele mezclar (20%-50%) de la composta y porcentaje sobrante corresponde al suelo.

Los beneficios de la composta al aplicarse al suelo según Jaramillo (2012) son: Mejorar la densidad aparente del suelo como un indicador del estado de agregación y su porosidad, en los suelos arcillosos incrementa la porosidad lo que favorece la penetración de las raíces y aumenta el crecimiento de las plantas, a su vez también favorece la capacidad de retención de humedad, permitiendo controlar la erosión y por último, la acción de los ácidos húmicos mejora la estructura y textura de los suelos.

## 1. METODOLOGÍA

### 6.1 Descripción del sitio de estudio

La colonia de Fraccionamiento Villas Xoxo II se encuentra dentro del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán. Entre los paralelos 16°57' y 17°03' de latitud norte; los meridianos 96°45' y 96°52' de longitud oeste; altitud entre 1 500 y 2 100 m.

Cuenta con una superficie de 797 m de perímetro y un área de 29577.977m<sup>2</sup> con un total aproximado de 491 casas repartidas en 7 condominios nombrados de la siguiente manera: Chuy rasgado, José Luis Alavez, Doña Rosa, Doña Casilda, Ma. Sabina, Álvaro Carrillo y José Vasconcelos distribuido como se muestra en la **Figura 5**.

La investigación consistirá en la creación del plan operativo para el manejo RSU de los residuos en la colonia seleccionada en distintas etapas, la primera consistirá en la caracterización de los residuos en el sitio de estudio que permita tomar decisiones a partir del análisis estadístico generado mediante un muestreo, los datos arrojados darán pauta a las estrategias de aprovechamiento y valorización de los residuos para el manejo de RSU en la colonia.

### 6.2 Caracterización de los residuos en el sitio de estudio

#### 6.2.1 Diseño de muestreo

A partir de la determinación y ubicación del universo de trabajo en el plano de la zona elegida para el estudio de 360 casas habitadas en la colonia, se seleccionará un muestreo simple al azar con 5 puntos ubicados en cada andador de forma que sean 35 personas seleccionadas divididas equitativamente de los 7 condominios, para esto, se visitará a los habitantes de las casas seleccionadas en la premuestra con el fin de explicarles en qué consiste el proyecto y los beneficios así como invitarlos a participar en él; la selección de las fuentes de muestra se considerarán de acuerdo con la respuesta de las personas a participar en la investigación de forma voluntaria, una vez que se obtenga una respuesta positiva se aplicará una encuesta con el objetivo de

conocer los datos como el número de habitantes por cada vivienda y su opinión en general acerca del tema.

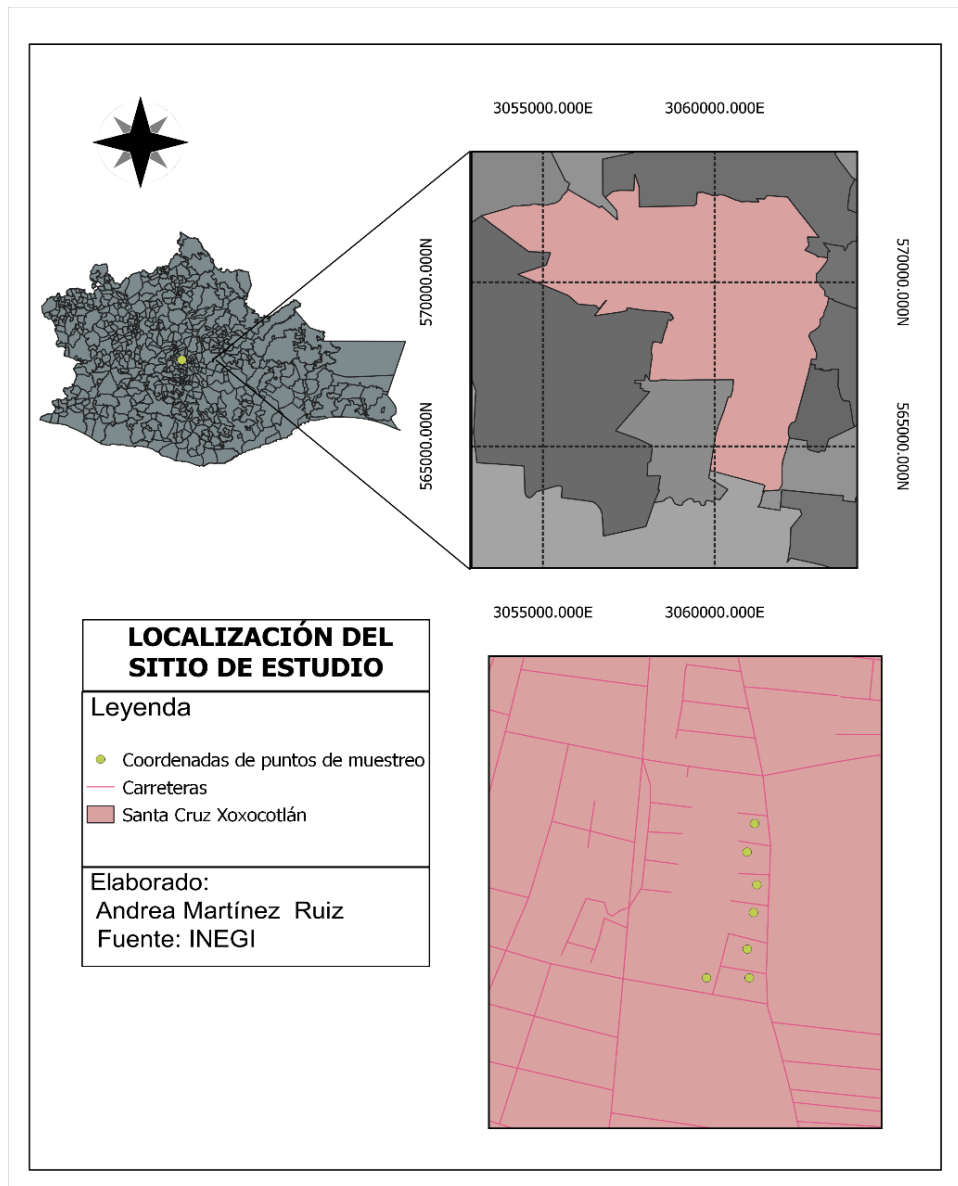


Figura 5. Localización de la zona de estudio

### 6.2.2 Determinación de generación de fuentes residenciales

Para el análisis de generación se recogerá diariamente los residuos generados por los habitantes seleccionados en bolsas de polietileno, a partir de eso se hará el conteo de los residuos diarios durante una semana. Se anotará el número perteneciente a cada

elemento de la muestra de acuerdo con la división de cada condominio. Los datos obtenidos se registrarán en la cédula de encuesta, en el renglón correspondiente al día en que fue generado para después capturar los datos en Excel y realizar un análisis estadístico descriptivo.

El valor de la generación per-cápita de residuos sólidos en Kg/hab-día correspondiente a la fecha en que fueron generados; se divide el peso de los residuos sólidos entre el número de habitantes promedio de la casa habitación.

### **6.2.3 Cuantificación de productos y subproductos**

Por otra parte, se considerarán los productos que por definición son bienes que generan los procesos productivos a partir de la utilización de materiales primarios o secundarios, que comprenda sus ingredientes o componentes y su envase; por otro lado, subproductos que son los diversos componentes físicos de los residuos sólidos municipales, susceptibles de ser recuperados.

Para esta prueba se utilizarán los mismos residuos generados en la metodología anterior con las mismas premuestras seleccionadas con el fin de mantener la investigación homogénea, para la caracterización de los residuos se separará en orgánica e inorgánica desde la fuente de generación después se procederá a separar los residuos inorgánicos de acuerdo con la NMX-AA-22-1985, posteriormente se pesará cada bolsa con cada uno de los subproductos y se anotará en el formato correspondiente de la norma.

Para finalizar se comprobará el peso total del inicio con la suma de todos los subproductos como mínimo el 98% del peso total de la muestra, los resultados se agruparán por condominio y se formará una base de datos para hacer los estudios estadísticos y calcular los coeficientes de generación por habitante y por condominio de residuos residenciales.

### **6.2.4 Determinación del peso volumétrico de los residuos sólidos**

Se seleccionará un recipiente cilíndrico con capacidad conocida y se llenará con residuos homogenizados totales diarios de todas las submuestras a partir de lo

obtenido en los apartados anteriores y se realizará como indica la NMX-AA-19-1985, se reportarán el resultado del peso volumétrico de los residuos sólidos urbanos en Kg/m<sup>3</sup>.

### **6.3 Valorización de residuos inorgánicos**

Los residuos inorgánicos se valorizarán por medio del reciclaje, a partir de los resultados de la caracterización de productos y subproductos se seleccionarán aquellos que puedan ser aprovechables de acuerdo con la clasificación y cantidad de residuos obtenidos en el estudio.

La selección se basará en función de aquellos residuos que generalmente se comercializan en el Estado de Oaxaca y del directorio de centros de acopio realizado por la SEMARNAT para conocer las empresas que aceptan los residuos seleccionados, así como la forma de separarlos, manejarlos y disponerlos.

Una vez identificados y separados adecuadamente los residuos reciclables los colonos elegirán por conveniencia la empresa en donde realizarán el reciclaje de acuerdo con la lista que se muestra en el plan operativo donde clasifica por tipo de residuo las opciones disponibles ubicadas en diferentes puntos de la ciudad, una vez seleccionado quedará a cargo del condominio la organización para el transporte y periodicidad de entrega de residuos.

### **6.4 Aprovechamiento de residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos serán aprovechados por el método de compostaje, que consiste en el proceso de transformación del material orgánico en abono natural que sirve para aportar nutrientes a la tierra a través de la degradación microbiana.

Se realizará un taller para los colonos interesados en realizar una composta, donde utilizarán materiales como huacales o en su caso, espacios verdes comunes seleccionados por cada condominio y se realizarán de la siguiente forma:

Acondicionamiento de los residuos: Antes de preparar la composta se reducirá el tamaño de los residuos para facilitar la descomposición para esto se triturarán los residuos hasta obtener un tamaño entre 5 y 10 cm.

Dentro del recipiente o contenedor se irá depositando el material cuarteado de la siguiente forma:

1. Se colocará una cama de 10 cm de material seco (ramas, hojas secas) triturados dentro del recipiente.
2. Agregar encima una capa de suelo de 10 cm, luego se humedecerá sin llegar a la saturación.
3. Se procederá a agregar una capa de restos vegetales domésticos (material a compostar) de aproximadamente 5 cm.
4. Finalmente, se colocará otra capa de suelo de 10 cm y humedecerá sin llegar a la saturación.

Posteriormente se monitorearon las compostas de forma semanal tomando en cuenta tres variables que son fundamentales para el correcto desarrollo de la composta (Temperatura, pH y humedad). La temperatura (°C) se medirá a través de un termómetro de mercurio, mismo que se introducirá en la pila y manualmente se comprueba la temperatura según la fase de compostaje. Por otro lado, el pH se tomará a partir de una muestra de la composta y se colocará en un recipiente con agua (volumen/volumen 1:5) se agitará y se tomará la lectura con una tira indicadora.

Por último, la humedad por un método cualitativo sensorial (“técnica del puño cerrado”) que consiste en tomar una pequeña proporción de muestra con la mano y apretar estos restos, al abrir la mano el material deberá quedar compacto sin escurrir agua, si esto no ocurre y corre el agua se deberán tomar medidas correctivas para reducir la cantidad de humedad en la composta, contrario a esto si el material queda suelto en la mano se debe añadir material fresco o más agua.

## **6.5 Capacitación**

Se realizarán diferentes etapas de capacitación durante el desarrollo de la investigación, la primera consistirá en introducir a los colonos en el tema de residuos para invitarlos a participar en el estudio e implementación del manejo de residuos, la capacitación incluirá material didáctico y se proporcionarán folletos que incluyan información de la correcta. La concientización tendrá dos enfoques uno en la parte ambiental y otro en la salud, el primero para dar a conocer la problemática, la correcta clasificación y por último el aprovechamiento de los orgánicos e inorgánicos, por otro lado, cómo los impactos generados por residuos podrían repercutir en la salud.

Esto se realizará de forma escalonada comenzando con los comités de cada condominio para posteriormente poder reunir a los habitantes que participarán de forma voluntaria en la implementación del plan operativo. Por otro lado, se proporcionarán folletos que incluyan información de la correcta aplicación del manejo de residuos dentro de cada condominio.

Para aquellos voluntarios a realizar la composta se proporcionará una plática informativa en materia de composta que abarcará la forma correcta de realizar una composta, el material orgánico que se puede agregar, posibles problemas que podrán tener en la composta y como solucionarlos y los beneficios de realizarla. Posterior a eso se impartirá un taller que permitirá realizar la actividad de manera conjunta con los habitantes, por último, aquellos interesados en utilizar la composta para realizar huertos o sembrar plantas en las áreas comunes se proporcionará informar adicional para realizarlo.

## **6.6 Plan operativo**

A partir de la caracterización de residuos explicado en los apartados anteriores de la metodología, los resultados del estudio permitirán tomar decisiones acerca de la valorización y aprovechamiento de los residuos que se verán reflejados mediante la creación de un plan operativo que tomará en cuenta el manejo desde la generación hasta la disposición final de los residuos.

El plan operativo funcionará como guía para los habitantes que participen en el manejo de residuos sólidos urbanos, dentro del cual se incluirá la forma de separación desde la fuente de generación de residuos, recomendaciones para la correcta separación y disposición de los residuos, así como la simbología para cada contenedor y por último la forma de aprovechamiento y valorización de residuos orgánicos e inorgánicos.

## **7. Resultados y discusión**

### **7.1 Generación**

Previo al estudio de la caracterización de residuos sólidos urbanos se realizó una encuesta a los colonos para saber el conocimiento de la población acerca del tema, los resultados mostraron que un 32% de la población desconoce las formas de aprovechamiento de los residuos, sin embargo, a pesar de que el 68% de los habitantes conoce las distintas formas de aprovechar y valorizar los residuos, no lo practican o realizan en su vivienda, se modificó en la capacitación que se tenía de dar a conocer las formas aprovechamiento por uno que también incluyera como realizar este tipo de estrategias de tal forma que incentivara a la población a tomar conciencia del problema y realizarlo de forma voluntaria.

Por otro lado, arriba del 50% considera importante la separación de estos, en consecuencia, se logró una respuesta positiva a la correcta separación de RSU, su adecuada disposición y en el interés por aplicar campañas que permitan difundir este tipo de información.

Asimismo, al preguntarles acerca de las dificultades que podrían presentarse en la forma de realizar la separación de los residuos, se hizo evidente que las principales causas están relacionadas con que los camiones recolectores juntan todos los residuos por lo que la población considera que no es necesario seguir separándolos al desconocer si se lleva a cabo actualmente el aprovechamiento o valorización de los residuos inorgánicos.

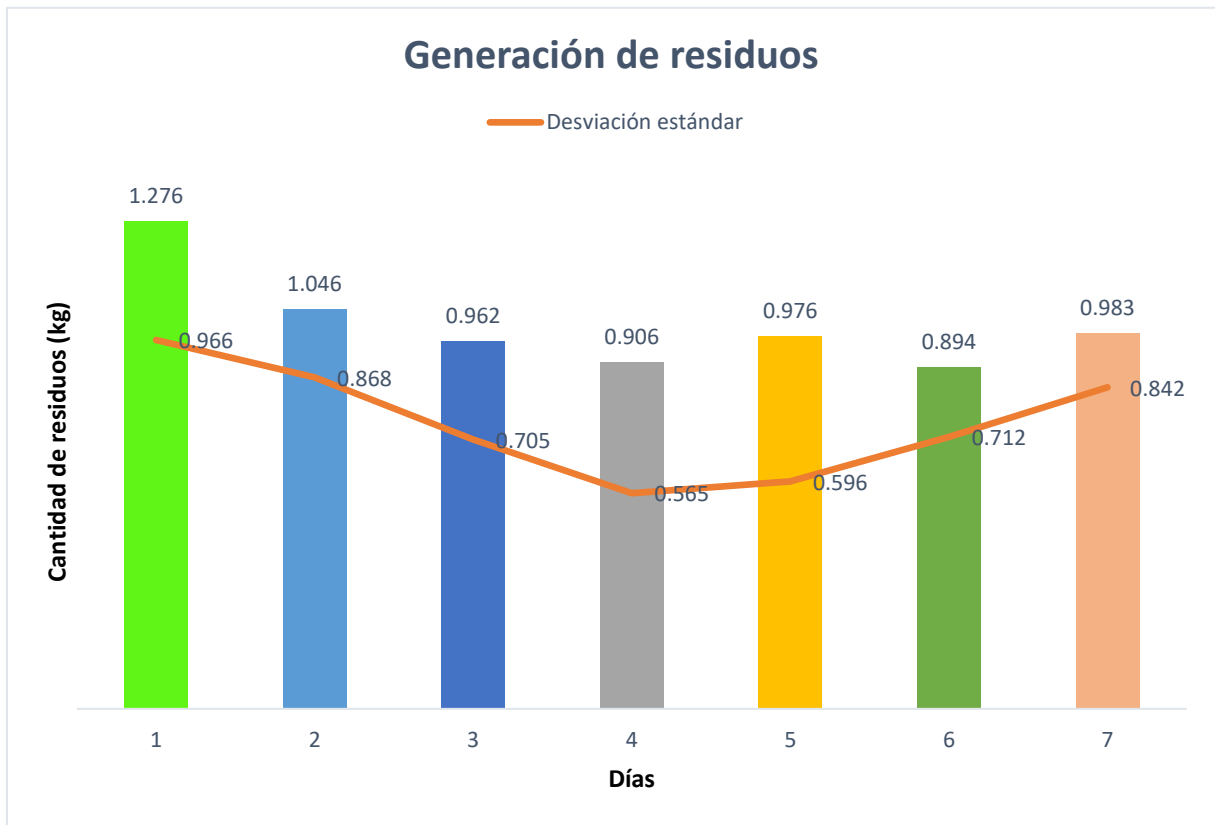
Un segundo aspecto puntualizado, está relacionado con la evidente falta de espacio que tienen los habitantes en sus hogares para colocar botes o bolsas de forma separada para todos los residuos en cada casa-habitación. Esto último, se consideró para la creación del plan operativo y se plantearon soluciones a partir de las inquietudes de los participantes del proyecto ya que el 86% de la población afirmó que, si existiera el espacio suficiente para colocar distintos botes destinados a cada residuo, realizaría la separación de forma adecuada.

De las 35 viviendas seleccionadas inicialmente en la metodología se contó únicamente con el apoyo de sólo 28 participantes en el proyecto, que concluyeron de forma adecuada los estudios de generación y caracterización de productos y subproductos los días planeados.

Del estudio realizado se observó que se generaron un total de residuos de 197 kg, la **Figura 6** muestra la cantidad de residuos generados y se puede observar que el primer día hay una cantidad mayor de residuos comparada con los demás días, esto se debe a una situación extraordinaria que ocurrió días previos al inicio del estudio donde la recolección de los residuos no fue realizada de manera regular en la zona ya que no se permitía el acceso a los camiones recolectores al sitio de disposición final que pertenece también el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán donde se realiza dicha actividad, esto justifica el total de residuos de 1.276 kg generados en ese día comparado con el promedio de los demás días que oscilo en 0.950 kg y observado mediante la desviación estándar del primer conjunto de datos de 0.96 comparado con el valor de la desviación estándar poblacional que fue de 0.75.

Tomando en cuenta el número de habitantes que se encuentran en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán de 100,402 habitantes, de los cuales 1080 (1.075%) pertenecen a la colonia Villas Xoxo. Y la cantidad de residuos reportada que se genera en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán es de 96,000 kg diarios de acuerdo con el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad

de México (2019) se realizó una estimación de la generación diaria de la colonia de Fraccionamiento Villas Xoxo II de aproximadamente 1,032.64 kg.



*Figura 6. Generación de residuos promedio por casa habitación*

Si bien el número total de residuos generados es un indicador del incremento en el número de habitantes que cuentan con el servicio de recolección de residuos y por consiguiente, una mejor condición en la vida de la población. No obstante, desde el enfoque ambiental, el valor de generación de residuos del municipio no implica una disposición final adecuada (SEMARNAT, 2017).

La **Figura 7** muestra la variabilidad de los datos obtenidos conforme al día del muestreo donde en el día 7 (domingo) se puede observar que existen datos atípicos respecto de los días restantes. Los datos mínimos presentados se relacionan con una baja generación de residuos, lo cual podría ser explicado debido a la ausencia de

los pobladores en sus hogares, al ser un día familiar dedicado preferentemente a realizar actividades lúdicas. Asimismo, los datos máximos podrían deberse a que dicho día es utilizado para la realización de diferentes actividades sociales en donde se involucre la participación de personas adicionales a los integrantes de las familias.

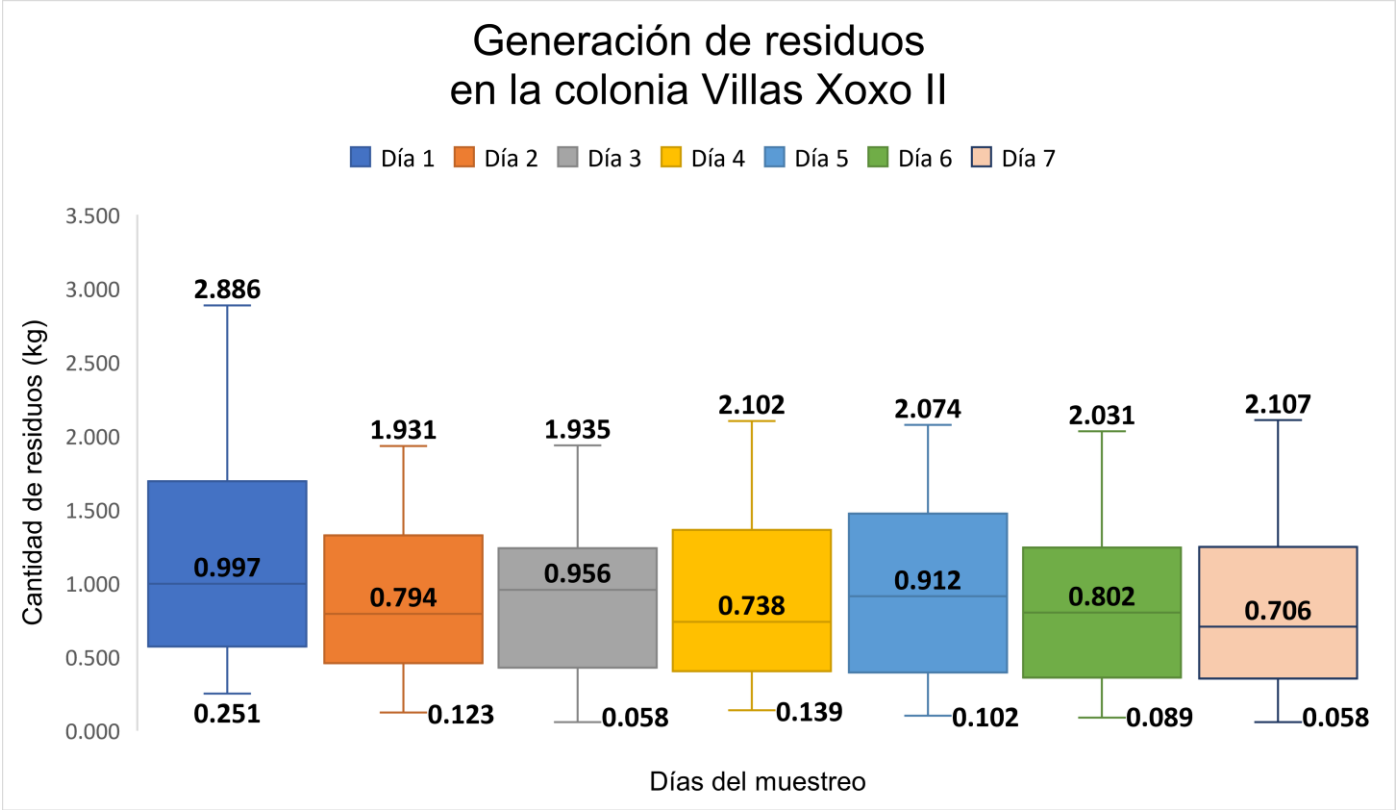


Figura 6. Variabilidad de los datos por día de muestreo

Con respecto a los días restantes (a excepción del día 1: Lunes que como ya se explicó en párrafos anteriores se presentó una situación extraordinaria por falta de recolección de residuos) se exhibe la actividad promedio de generación de residuos en la colonia, donde el 75% de la población genera entre 1.2 y 1.4 kg al día, la mediana de los datos es de 0.8404 kg. Por otro lado, la mayor dispersión de los datos se presenta entre el 50% y 75% de las muestras como consecuencia de la existencia de un mayor número de habitantes en algunas casas comparado al promedio general de las casas-habitación que se calculó en el estudio.

Por lo que respecta a los datos relacionados con la generación per cápita promedio obtenida en este trabajo fue de 0.33 kg/hab/día, este indicador muestra una

mínima diferencia de milésimas de acuerdo con lo reportado por la INECC-SEMARNAT (2012) para la región dentro del territorio nacional, donde se establece que el valor promedio para la región del sur del país es de 0.332 kg/hab/día y donde explica que esto se debe principalmente a que en esta región se cuenta con un grado de marginación muy alto donde Oaxaca está dentro de los 3 estados de la república mexicana con el porcentaje más elevado.

Por otro lado, este mismo valor obtenido en el estudio no concuerda con lo establecido en el diagnóstico básico del sistema integral de residuos sólidos realizado en el estado de Oaxaca, donde se establece un valor de generación per cápita de residuos para la zona rural de 0.30 kg/hab/día, esto debido a que aun cuando la colonia está clasificada como zona urbana las características de marginación educativa y la carencia de condición de vivienda que maneja la CONAPO (2010) y SEDESOL, la colonia corresponde en la realidad a una zona rural.

En la **Figura 8** se presenta el gráfico que muestra la generación per cápita en los 28 puntos de muestreo, este valor oscila entre 0.12 hasta 0.77 kg/hab/día, donde generalmente por cada hogar habitan un promedio de 3 personas, para el valor atípico que se observa en el punto de muestreo 14, se debió principalmente a lo que se explicó en el análisis de generación.

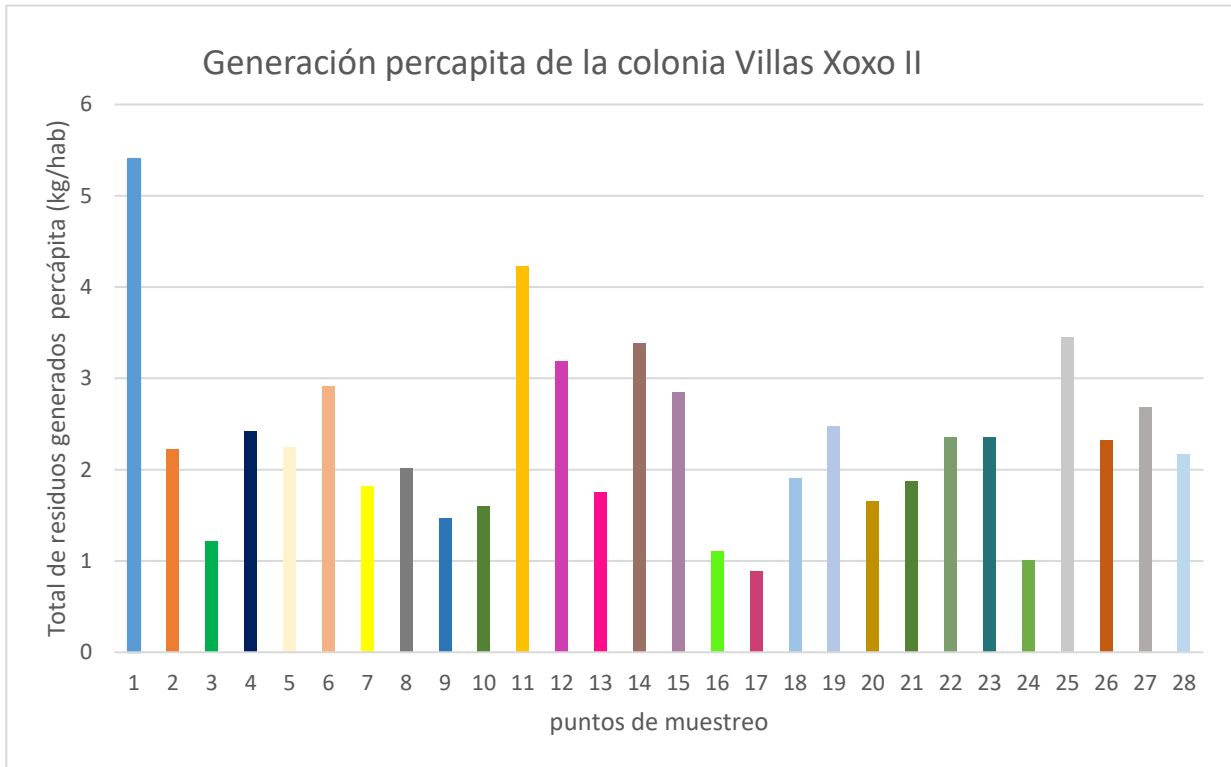


Figura 7. Generación per-cápita de la colonia

## 7.2 Valorización de productos y subproductos

Como resultado de la clasificación y cuantificación realizada en la caracterización de los subproductos se obtuvieron los datos mostrados en la **Tabla 8**, a partir de lo cual se separó en productos orgánicos e inorgánicos de los cuales la fracción orgánica representó más del 77% del total de residuos generados, mientras que los inorgánicos representan el restante.

A partir de esto, se clasificó los residuos en: Aprovechables dentro de los que se incluyen los residuos alimenticios y residuos de jardinería, y los inorgánicos que tienen un valor comercial como aluminio, cartón, cuero, envase de cartón encerado, envolturas de plástico, hueso, lata, madera, material ferroso, papel, plástico de película, plástico rígido, PET, poliuretano, poliestireno expandido, material no ferroso, vidrio de color, vidrio transparente.

En la **Figura 9** , se muestra que el porcentaje de los residuos que son factibles para aprovechamiento representan un 98% del total de los residuos generados, lo que muestra factibilidad para la creación del plan operativo de manejo de residuos sólidos, ya que se estaría tratando casi todos los residuos generados en la colonia, por otro lado, se ven marcados los inorgánicos sin valor comercial con aproximadamente solo un 2% del total de residuos, lo que da un escenario positivo para la cantidad de residuos que irían al sitio de disposición final después del manejo correspondiente.

Respecto de los resultados obtenidos de los residuos factibles de aprovechamiento, el resumen ejecutivo del programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en el estado de Oaxaca informa que a nivel estatal los inorgánicos con valor comercial tiene una ganancia asociada a un millón y medio de pesos y anualmente representaría una cantidad superior a 600 millones de pesos, de los cuales un aproximado del 55% representa a la región de Valles Centrales donde se encuentra el municipio de Xoxo.

Otro aspecto considerado en el estudio fue el peso volumétrico, el cual determina la capacidad del recipiente a utilizar en el almacenamiento temporal de los desechos. El INECC afirma que el peso volumétrico de los residuos sin compactar debe oscilar entre 125-250 kg/m<sup>3</sup>. En nuestro estudio se obtuvo un valor promedio de 187 kg/m<sup>3</sup> lo cual se encuentra dentro del rango mencionado y cumple con lo establecido anteriormente, siendo conformado en un 77% por materia orgánica por lo que en este caso no se necesitará de un recipiente con mucha capacidad ni que ocupe un gran espacio en el lugar seleccionado para los residuos inorgánicos.

Tabla 8. Productos y subproductos del estudio

<b>Productos</b>	<b>Subproductos</b>	<b>Total de residuos en kg</b>
Papel y cartón	Cartón	3.24047957
	Envase de cartón encerado	2.12643766
	Papel	2.85066654
Metales	Lata	1.0759246
	Material ferroso	0.19668532
Plástico	Plástico de película	2.57520545
	Plástico rígido	5.17938006
	PET	1.25939592
	Poliestireno expandido	0.17229024
	Poliuretano	0.13264824
Materia orgánica	Residuos alimenticios	75.6039052
	Residuos jardinería	1.92568649
	Hueso	0.06352885
	Madera	0.27647755
Vidrio	Vidrio de color	0.68407865
	Vidrio transparente	1.32851531
No aprovechable	Cuero	0.03405146
	Trapo	0.19211124
	Hule	0.04879016
	Otros	0.96970436

## Residuos que se tomarán en cuenta en el plan operativo

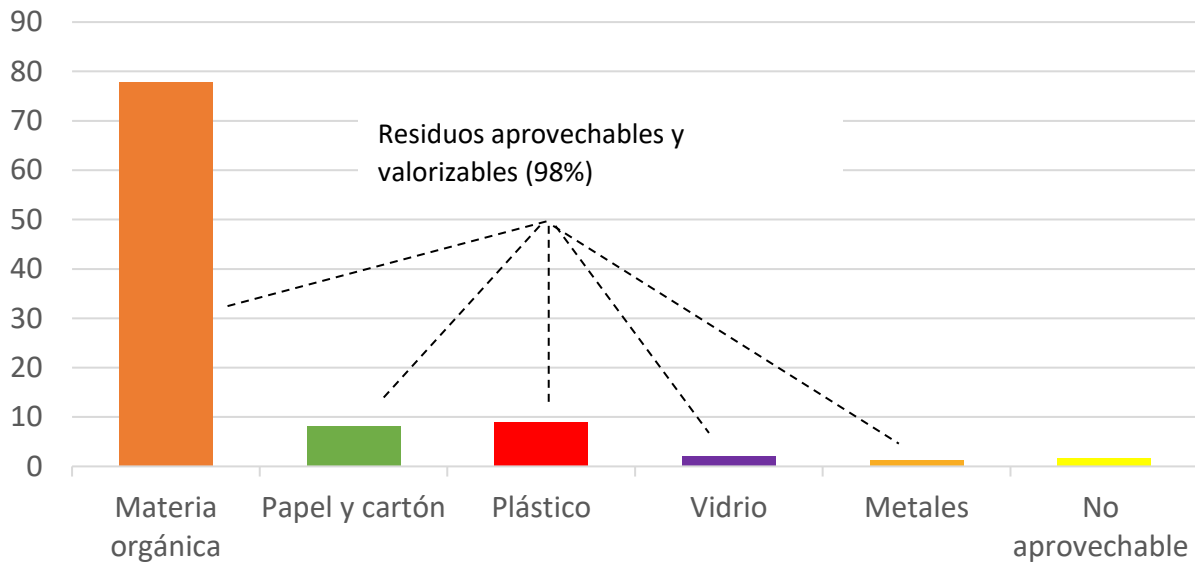


Figura 8. Residuos con potencial para ser aprovechados y valorizados

### Valorización de residuos inorgánicos

Después de valorizar los residuos seleccionados se creó la gestión con un enfoque principal en el reciclaje en función de aquellos residuos que generalmente se comercializan como se muestran en la siguiente **Tabla 9**.

Con base en los resultados del estudio de generación descrito con anterioridad y realizado dentro de este mismo proyecto, se creó el plan operativo que incluyó el manejo desde la generación hasta la disposición final de los residuos.

Se valorizaron los residuos seleccionados dentro del plan operativo con el objetivo principal de concientizar y sobre los beneficios económicos, sociales y ambientales que esto implica.

*Tabla 9. Valorización de residuos inorgánicos.*

<b>Producto</b>	<b>Subproducto</b>	<b>Precio por kg*</b>
Plástico	PET transparente	\$4.5
	PET color	\$2.5
	Plástico rígido	\$3.5
Cartón	Cartón	\$2.5
	Papel blanco	\$3.10
Vidrio	Color	\$0.10
	Transparente	\$0.10
Latas		\$4.0

Fuente: Elaboración propia

\*Los precios son estimados promedios y varían dependiendo de la empresa o centro de acopio.

El objetivo de elaborar el plan operativo es hacer replicable el manejo de residuos dentro de la colonia para cada fraccionamiento y posteriormente seguir ocupando la metodología como parte de un aprovechamiento permanente de los residuos dándole continuidad dentro de un programa interno establecido. Los beneficios a corto plazo se ven reflejados en la reducción de la cantidad de residuos que serán destinados a los sitios de disposición final, minimizando los impactos significativos en el ecosistema que dañan la calidad del aire, suelo y agua. En consecuencia, se espera que a mediano y largo plazo el proyecto sea sustentable y permita la recuperación de las inversiones que pretendan traer un beneficio económico para el mismo fraccionamiento.

### 7.3 Aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos

A partir de los resultados obtenidos en el estudio se planteó la estrategia para el aprovechamiento adecuado de los RSU, el primer paso fue informar a la población por medio de una capacitación en el tema de residuos, que incluía: Dar a conocer la problemática, la correcta clasificación y por último el aprovechamiento de los orgánicos e inorgánicos. Esto se realizó de forma escalonada comenzando con los comités de cada condominio para posteriormente reunir a los habitantes que participaron de forma voluntaria en la implementación del plan operativo.

Debido al porcentaje de materia orgánica (77%) que se obtuvo de la caracterización de productos y subproductos se eligió el método de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, a partir de la capacitación mencionada anteriormente se procedió a trabajar con 10 personas interesadas en participar de forma voluntaria en un taller para realizar la composta de forma individual con materiales como huacales (como se muestra en la **Figura 10**) o en comunidad seleccionando un espacio del área verde común de cada fraccionamiento. Posteriormente se monitorearon las 10 compostas de forma semanal tomando en cuenta tres variables que son fundamentales para el correcto desarrollo de la composta, que los materiales estén equilibrados en contenido orgánico seco y húmedo, que la mezcla tenga buena aireación y que exista una humedad adecuada.



*Figura 9. Composta elaborada por un colono*

A partir de la premisa anterior se registraron parámetros de temperatura para juzgar la eficiencia y el grado de estabilización a que ha llegado el proceso, ya que existe una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la

materia orgánica, humedad como medida de porcentaje de agua de la composta, de forma cualitativa y organoléptica. Por otro lado, se midió el pH que sirve de referencia para conocer la actividad biológica de los microorganismos que degradan la materia orgánica, esto se realizó por medio de tiras indicadoras.

Con los parámetros descritos anteriormente, se pudo llevar a cabo un estudio más detallado del proceso del compostaje de forma cualitativa, esto debido a la crisis sanitaria por COVID-19 que no permitió realizar mediciones de análisis cuantitativo. Para los residuos inorgánicos se eligieron aquellos que representaron mayor cantidad entre los subproductos y productos.

### **7.3.1 Compostaje**

Una vez transcurridas las doce semanas donde se monitorearon los parámetros de temperatura, humedad y pH de las 10 muestras de compostas, se realizó un promedio de los resultados.

El primer parámetro hace referencia a la temperatura, la cual es un reflejo de la actividad microbiana y puede determinar la eficiencia del proceso de compostaje, debido a que es proporcional a la magnitud de la degradación de la materia orgánica, así mismo existe la relación entre el tiempo durante el cual la temperatura llega a su valor máximo como indicador de degradación microbiana (Bueno, *et al.*, (S.F))

Cada microorganismo tiene un intervalo de temperatura para su óptimo desarrollo siendo la más efectiva entre 15-40°C para los microorganismos mesófilos y 40-70 °C para los termófilos (Suler & col, 1977). Aquellos organismos que presenten una mayor adaptación podrán descomponer de forma más eficiente la materia orgánica, generando calor lo que provoca el aumento de la temperatura.

Para el caso del presente experimento, este parámetro alcanzó un valor máximo de 57.4 °C en la semana 4, resultado de la actividad bacteriana, mientras que el mínimo fue de 20.2°C derivado de que la composta se encontraba en la etapa final de maduración, lo que coincide con lo señalado por Román, *et al.* (2013).

Como se observa en la **Figura 11**, en las tres primeras semanas se mantuvo una temperatura promedio entre 20 y 28 °C, esto principalmente como consecuencia de las bajas temperaturas en la temporada de invierno presentadas en la región donde se realizó el estudio. Las compostas no estuvieron aisladas de las condiciones ambientales ya que necesitan calor y oxígeno por lo que el frío afectó su proceso, lo que coincide con lo que Rodríguez & Córdova (2006) señalan en su manual de compostaje municipal.

Por consiguiente, estos autores recalcan que la mejor época para iniciar el compostaje es en primavera y verano ya que las altas temperaturas aceleran la actividad metabólica de los microorganismos que realizan el proceso de biotransformación de los sustratos.

Para solucionar este problema, se agregó una cantidad adicional conocida de sustrato orgánico en la composta y también se colocó un plástico perforado para guardar mejor el calor, por lo que la etapa termófila comenzó a la semana cuatro cuando la temperatura aumentó en algunas compostas hasta 60°C con una media de 57.4°C y una duración de 7 días, este aumento de temperatura es crucial para la calidad de la composta porque el calor mata patógenos y semillas de malas hierbas garantizando la esterilización del material a degradar (Ravindran & Sekaran,2010). Soto & Meléndez (2004) afirman que el valor obtenido en nuestras compostas se encuentra dentro del rango aceptable, mientras que otros autores determinan los 65°C como un valor óptimo en el proceso. Por su parte, la fase de Enfriamiento o Mesófila II comenzó a la semana 8 con valores cercanos a los 40°C y luego fue decreciendo en la fase de maduración hasta llegar a temperatura ambiente de 20°C.

En resumen, se observó el cambio de temperatura a lo largo del proceso que conllevó la elaboración de la composta, correspondiendo a las cuatro etapas características que son: (1) etapa de calentamiento de 3 semanas ( $\leq 30^{\circ}\text{C}$ ), etapa de temperatura más alta con duración de dos semanas ( $\geq 50^{\circ}\text{C}$ ), después continuó con un

descenso de temperatura ( $\geq 40^{\circ}\text{C}$ ) y por último la etapa de estabilización para el resto de los días ( $< 25^{\circ}\text{C}$ ).

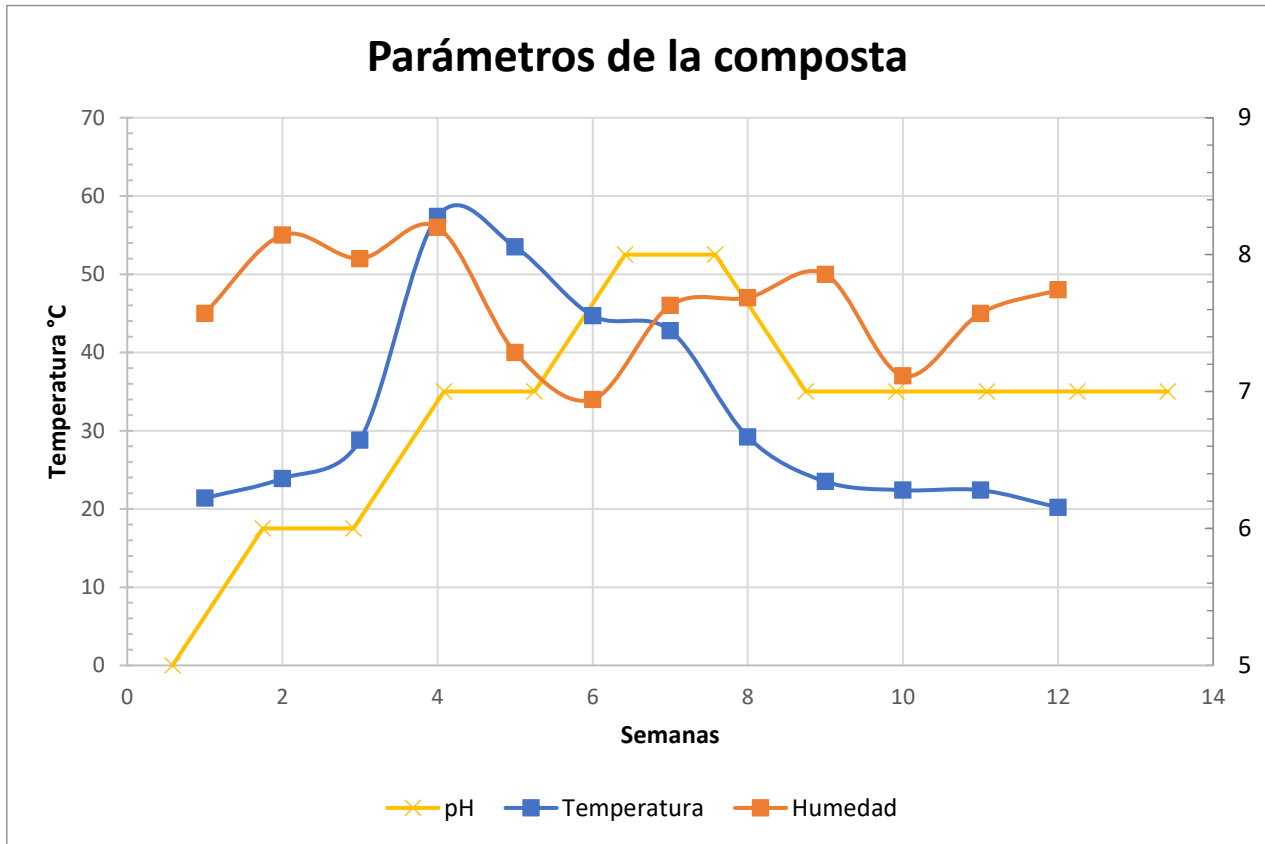


Figura 10. Parámetros promedio de las compostas

Por otro lado, el siguiente parámetro medido fue el pH, el cual es considerado importante ya que afecta el crecimiento y la reproducción de microorganismos durante el compostaje. Cuando el valor de pH es 7-8, el microorganismo crece y se propaga rápidamente, y la eficiencia de la degradación de la materia orgánica es alta.

A partir de la semana 4, el pH en las compostas del experimento aumentó a 7, esto afirma lo señalado por Wei *et al.* (2014) donde se menciona que esto se debe al consumo de ácido y la formación de amoníaco; posterior a eso el pH se mantuvo a ese mismo valor, donde los organismos termófilos reiniciaron la actividad de la degradación de compuestos de naturaleza ácida y de la mineralización de compuestos nitrogenados hasta la forma de amoníaco, esto conocido como proceso de

amonificación, el cual actúa como un importante sumidero de protones y, por tanto, favorece al aumento del pH. Debido a esta conducta y a su variación durante el proceso de compostaje, el pH se ha tomado como parámetro indicativo de la buena evolución del proceso de éste.

Cabe señalar, que de acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2008 los valores de pH obtenidos en las compostas oscilaron entre 6-8 y son valores considerados como aceptables ya que se encuentran dentro del intervalo óptimo. Sin embargo, durante el proceso de compostaje se presentaron oscilaciones en el pH de la semana 6 a la 9, lo que coincide con lo que menciona Román *et al.* (2013) ya que en estas semanas las compostas se encontraban en la fase termófila debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio lo que causó las variaciones hasta llegar a la neutralidad.

El último factor monitoreado fue la humedad, Jeris & col, (1973) consideran que es la variable más importante en el compostaje, ya que el proceso necesita la presencia de agua para las necesidades fisiológicas de los organismos, y es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de deshecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso.

De acuerdo con lo señalado por Haug (1993), la humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%. Cuando las condiciones se hacen anaerobias se originan malos olores y disminuye la velocidad del proceso.

Lo anterior puede regularse al agregar una mayor aireación, con la finalidad de llegar a un equilibrio entre los huecos de las partículas (tamaño de la variable) que pueden llenarse de aire o de agua. La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa (Miyatake & col., 2006), para que permita la circulación tanto del oxígeno (ya que el proceso debe desarrollarse en condiciones aerobias), como la de otros gases producidos en la reacción.

La humedad depende de las condiciones meteorológicas, de los materiales orgánicos; que se introducen en la composta donde generalmente se recomienda agregar tres partes húmedas por una seca, por último, de la ubicación, la cual es también una condicionante que necesita una correcta aireación, iluminación, entre otros factores.

El estudio mostró que la humedad conservó a lo largo del proceso un promedio de 46.25%, sin embargo, durante las primeras semanas se mantuvo una humedad >50% ya que los organismos encargados de la descomposición de los materiales necesitan cierto contenido de agua para desarrollar su actividad.

Durante la semana 6 y 7 hubo un descenso en la humedad <40% donde se aplicaron medidas correctivas para regularla, proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, entre otros). El proceso culminó con un contenido de humedad del 48%, no obstante, fue notorio que el proceso se mantuvo activo a través del tiempo, debido esencialmente a la acción microbiana, la cual al parecer no se vio influenciada drásticamente por la disminución en el contenido de humedad.

Con respecto a la relación que tienen estos parámetros en el proceso de compostaje, los cambios registrados en las condiciones de temperatura, humedad y pH indican las trayectorias metabólicas y según Jenkinson (1992) también son factores que determinan la actividad microbiana que influye en la descomposición de la materia orgánica.

La temperatura afecta considerablemente la variación con los demás parámetros, por lo que teniendo en cuenta la evolución de esa propiedad puede juzgarse el grado de eficacia y estabilización del proceso, todo ello como consecuencia de la relación directa existente entre la degradación y el tiempo total durante el cual la temperatura ha sido más elevada.

Por esa razón, se necesita tener un control total sobre el factor de la temperatura, puesto que de alcanzar unos valores excesivamente altos se puede dar una inhibición completa del crecimiento de los microorganismos que muestra la correlación de la humedad, el tiempo de extracción de la composta, la duración y del almacenamiento de esta.

El valor del pH de una solución depende directamente de la temperatura, cuando la temperatura rebasa los 25°C se reduce el pH y por el contrario cuando la temperatura es baja el pH se eleva, lo que da como resultado la medición de un valor próximo al neutro. A partir de esta premisa se puede considerar que las primeras semanas que se tuvieron temperaturas bajas el pH no disminuyó a valores de 4-4.5 que en otros casos se da por la descomposición de compuestos solubles que producen compuestos ácidos que disminuyen el pH (Román, *et al.*, 2013).

Lo anterior pudo propiciar que, al tener un pH alto en las fases iniciales del proceso, pudo haber pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco (Bernal, *et al.*, 1998), debido a que la temperatura no aumentó de forma considerada en las primeras tres semanas del compostaje, sin embargo, para la etapa termofílica el pH de 7 favoreció el incremento de la temperatura a niveles por encima de los 50°C.

Cabe señalar que Tortosa (2013) afirma que los valores altos de temperatura y valores de pH básicos favorecen la pérdida de amoníaco en forma gaseosa, repercutiendo estas pérdidas en el valor fertilizante final de la composta. Además, este amoníaco libre puede resultar tóxico para los microorganismos y para las plantas, siendo, además, muy reactivo con un gran número de compuestos orgánicos.

Por otro lado, a medida que la humedad y temperatura disminuyen como se observó en las últimas semanas, el aumento del pH evidencia reacciones bioquímicas del compostaje en favor de su estabilización, por ejemplo, en la descarboxilación de aniones orgánicos (Cayuela, Sánchez, & Roig, 2012). Asimismo, a medida que cambia

la temperatura, también lo hace la cantidad de evaporación y humedad, por lo tanto, son fenómenos ambientales interrelacionados: la humedad aumenta a medida que la temperatura se enfría.

También se ha comprobado que un aumento de la humedad es más efectivo para incrementar la actividad biológica que la temperatura, por lo que estos autores Liang, *et al.* (2003) proponen que se use como parámetro de control para conocer cómo funciona la biología del proceso al ser más sensible que la temperatura. Por último, la relación del pH y la humedad (valores promedios de 7 y 46% respectivamente) demostró ser adecuada de acuerdo con Román, *et. al* (2013) que afirma que un pH >8.5 representa un exceso de nitrógeno en el material de origen relacionado a una humedad alta que produce amoníaco alcalinizando el medio.

### **7.3.2 Aplicación de las compostas**

Rodriguez & Cordova (2006) plantean que para uno de los puntos más importantes de un programa de compostaje como método para el aprovechamiento de residuos orgánicos es la utilización de la composta madura, debido a que no se completaría el ciclo del programa y se perderían los beneficios que la composta aporta al suelo.

Los autores también recomiendan que para el caso de las macetas se debe mezclar un parte de la composta por tres de tierra, en el caso de plantas y huertos los primeros 5cm del suelo previamente desmalezado, en árboles agregar una primera capa de 5 cm y que cubra el total del follaje del tronco y por último para sembrar en prados nuevos, se incorporan de 2 a 3 kg de composta por cada metro cuadrado de suelo.

De modo que, al terminar el proceso de compostaje de 3 semanas se realizó una breve capacitación a los colonos para explicarles el procedimiento del desdoble de la composta para el uso posterior de la misma, así como también de los usos y beneficios. Al mismo tiempo, se incluyó en la capacitación las proporciones correctas para utilizar la composta de acuerdo con el uso que le brindará cada participante.

El desdoblamiento consistió en cribar la composta para poder eliminar el material que no se haya degradado por completo con un tamiz de aproximadamente 10 mm. La composta madura se almacenó en bolsas impermeables de color negro y en un lugar donde no esté cerrado herméticamente y donde no se pueda mojar, esto con el fin de evitar que factores como la lluvia, sol o viento puedan alterar los nutrientes contenidos en la composta. Es importante mencionar que antes de almacenar la composta se aseguró que estuviera madura, ya que, de este modo, se evita que el proceso de descomposición tenga lugar fuera del compostador.



*Figura 11. Siembra de plantas en el área verde común del condominio*

Las compostas se utilizaron principalmente para la siembra de plantas en las áreas comunes de los condominios y el uso en macetas de las jardineras de tal forma que se pudiera reintegrar al suelo el material orgánico compostado como se muestra el ejemplo en la **Figura 12**.

## **8. Conclusiones**

El presente estudio realizó un análisis para la implementación del manejo de residuos en la colonia del Fraccionamiento Villas Xoxo II donde se recabó información para ubicar el contexto socioeconómico y ambiental en el que se desarrolla la colonia y el municipio, desde sus orígenes, recursos naturales, demografía y condiciones físicas, así como también los antecedentes con respecto a la gestión de residuos sólidos urbanos en el Estado. Esta información sirve de herramienta para estudios posteriores comparativos que consideren asentamientos próximos a la colonia e incluso de todo el municipio para implementar un plan del manejo integral de residuos urbanos y determinar si hay potenciales daños a la salud o al ambiente y mitigar los efectos negativos.

A partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico realizado en el estudio, se concluyó que la mejor forma para la solución al problema es establecer las bases de la organización que podrían tomar los habitantes para el tratamiento de sus residuos, a partir del enfoque interdisciplinario que conjunta la sociología y economía para la resolución del problema ambiental.

La capacitación a los colonos fue clave en la implementación del manejo de RSU, la concientización se realizó con dos enfoques: uno en la parte ambiental y otro en la salud, el primero informó sobre la contaminación al ecosistema generada por este problema y cómo se podía participar en la solución. Por otro lado, cómo los impactos generados por residuos repercuten en la salud, además se incluyeron las perspectivas acerca del exceso en el consumo de productos industrializados con contenedores de diferentes materiales, reúso de los productos consumidos y reducción de los residuos. Y por último a través de la valorización o reciclaje se buscó el aprovechamiento máximo de los residuos para el beneficio de la ciudad con el fin de incluirlos dentro de una economía circular.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propuso una estrategia para el cumplimiento adecuado de la legislación ambiental, donde se pretende generar hábitos en el manejo de residuos urbanos con una propuesta de la valorización de residuos inorgánicos por

medio de reciclaje de los subproductos y el aprovechamiento de orgánicos por el proceso de compostaje.

Partiendo de que el estado de Oaxaca tiene una compleja división política, que lo hace el estado con el mayor número de municipios en el país (570), así como sus propios sistemas de elección política (usos y costumbres) que son determinados por los pueblos en función a su idiosincrasia, valores y creencias, el estudio de la diversidad cultural y de las dinámicas de los sistemas de cada comunidad permitirían conocer y establecer dinámicas que incluyan la participación continua basada en la educación ambiental que permita aprovechar las ventajas que ofrecen estos sistemas de usos y costumbres y utilizarlos para beneficio y desarrollo de los pueblos autogestionados

Para cumplir con los objetivos planteados se creó un plan operativo que tomaba en cuenta a los diferentes actores con el fin de impulsarlos a responsabilizarse de los residuos generados en cada casa-habitación. La información obtenida del diagnóstico junto con la búsqueda del contexto social y económico de la colonia permitieron identificar las áreas de oportunidad del municipio y el plan operativo se creó de forma específica, los resultados de la caracterización hicieron evidentes la factibilidad del manejo adecuado, ya que mostró que un 98% de los residuos podían ser aprovechados disminuyendo notablemente la cantidad de residuos que irían al sitio de disposición final después del manejo correspondiente, lo que crea un escenario positivo para las siguientes investigaciones y en la gestión integral de residuos en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán.

En síntesis, la identificación de los puntos clave para el manejo integral de residuos sólidos urbanos a partir del análisis de un sector pequeño de población incluyen: 1) Generación de datos específicos de los territorios y 2) Regulación y planificación de la gestión. Al combinar estos criterios se puede generar una visión integral que permita tomar decisiones informadas y evaluar la política de residuos en el estado y sus municipios.

La investigación realizada pretende servir de referencia para distintas colonias del municipio con el objetivo de gestionar los residuos con mecanismos eficientes que incluyan y creen alianzas con las diferentes instituciones gubernamentales y no gubernamentales involucradas en los problemas públicos de esta índole, al mismo tiempo que consideren el analizar la historia del municipio con sus usos, costumbres y condiciones de arraigo a sus comunidades y liderazgos, buscando los mecanismos necesarios para que la sociedad en su conjunto y las autoridades realicen de manera sinérgica un plan de gestión integral de residuos, que beneficie a todos los sectores de la población.

El aprovechamiento de los residuos orgánicos se realizó a través del método de compostaje que permitió transformar la porción orgánica de los residuos de la colonia de Fraccionamiento Villas Xoxo II en un producto útil para la población, tomando en cuenta que la porción orgánica es del 77% del total de residuos generados en la colonia. Esta estrategia permitirá que la cantidad de residuos dispuestos en los sitios disminuyan, lo que propiciará un menor impacto negativo por la dispersión y generación de compuestos tóxicos productos de la transformación en los tiraderos municipales.

Lo anterior podría ayudar principalmente en mejorar la gestión de la disposición final al disminuir más del 50% de residuos que serían desechados diariamente, así como la generación de lixiviados y gases de efectos invernadero. Y en segundo podría mejorar el suelo al involucrar a la población para el mantenimiento de jardines y creación de huertos.

Por otro lado, se controlaron algunos parámetros como temperatura, pH y humedad que son factores que limitan significativamente el proceso, por lo que el monitoreo determinó la eficacia de la actividad microbiana para degradar el material orgánico, el estudio obtuvo rangos de 20.2°C-57.4°C, 6-8 y 34%-56% (temperatura, pH y humedad respectivamente).

Los resultados obtenidos concuerdan con Suler & col (1977) que determinan que el intervalo óptimo de temperatura es de 15°C-40°C para los organismos mesófilos

y 40°C-70°C para los termófilos. En cuanto al pH, los autores también afirman que el rango que indica una correcta aireación debe estar entre los 7 y 8, por último, establecen que la humedad óptima debe oscilar entre el 50-70%.

Para mejorar la eficacia de las compostas y reducir el tiempo de degradación se redujo el tamaño de partícula de los residuos, según Poincelot, (1974) esto facilitará la degradación de los microorganismos. Por último, para conocer si el proceso había terminado se comprobó que las compostas cumplieran con ciertas propiedades organolépticas de la composta que incluyen el color negrozco o marrón, olor a bosque, la textura que fue ligera y esponjosa y se podía desmenuzar fácilmente con las manos y debía estar frío debido a la falta de actividad microbiana.

La composta mantuvo los parámetros adecuados durante todas las etapas del proceso, los cambios registrados en las condiciones de temperatura, humedad y pH que son un indicativo fundamental de las múltiples trayectorias metabólicas predominantes durante el proceso de compostaje, por lo que se recomienda aplicar como una alternativa sostenible para el tratamiento de material orgánico generado por la población.

## 9. Bibliografía

1. Aguilar, M., Álvarez, T. y Álvarez, J. (2020). *Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Oaxaca, México, desde el Enfoque Sistemático*. Revista de ciencias sociales de la Universidad Nacional de Nuevo León, ISSN-e 2007-1205, N°. 51, 2020, págs. 85-108.
2. Bernache, G., Sánchez, S., Garmendia, A., Dávila, A. y Sánchez, M. (2001). Solid waste characterization study in the Guadalajara metropolitan zone, Mexico. *Waste Manag. Res.* 19, 413-424. DOI: 10.1177/0734242X0101900506.
3. Bernal, M; Paredes, C; Sánchez, M y Cegarra, J. (1998) Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63(1), 91-99.
4. Bueno, P; Díaz, M y Cabrera, F (S.F) *Factores que afectan al proceso de Compostaje*. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), CSIC. Recuperado de: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
5. Buenrostro O. y Bocco G. (2003). Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives. *Resour. Conserv. Recy.* 39 (3), 251-263. DOI: 10.1016/S0921-3449(03)00031-4.
6. Liang, C; Das, K.C y McClendon, R.W. (2003). *The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend*. *Bioresource Technology* 86 (2003) 131–137.
7. Carnes, R. y Lossin, R. (1970). An investigation of the pH characteristics of compost. *Compost Sci.* 5.
8. Carrasco & Rodriguez (2015) *Análisis de estadísticas del INEGI sobre residuos sólidos urbanos*. Revista internacional de estadística y GEOGRAFÍA Vol. 6 (1).
9. Cayuela, ML; Sánchez, MA; Roig, A; Sinicco, T y Mondini, C. (2012) Biochemical changes and GHG emissions during composting of lignocellulosic residues with different N-rich byproducts. *Chemosphere* 88:196–203

- Challenges, Volume 2, pp. 73-93.
10. CNGMD (2017). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales. Gestión de los RSU (Módulo 6 para el Censo de 2017)*: INEGI.
  11. Costa, F; García, C; Hernández, T. y Polo, A. (1995). *Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia. 181 pp.
  12. Cronje, A., Turner, C y Williams, A. (2003) Composting under controlled conditions. *Environ. Technol.* 24 (10): 1221-1234.
  13. DBGIR (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. México: Lucart Estudio S.A. de C.V. Primera edición.
  14. DOF. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003).
  15. FAO 2003 "On-farm Composting Methods" FAO, Rome.
  16. Fatta, D. C., P. Naoum, P. Karlis y Loizidou, M. (2000) Numerical simulation of flow and contaminant migration at a municipal landfill. *Journal of Environmental Hydrology*. 8:1-11.
  17. García, A. (2006). Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística Inversa: Estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos. (1.<sup>a</sup> ed., pp. 75–83). México: Eumed.net. Recuperado de <https://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/aago/a5d.htm>
  18. Haug, R.T. (1993) *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
  19. Jaramillo C. (2012) Evaluación agronómica de un suelo calizo enmendado con compost de alperujo. Tesis de magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en suelos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 83 p.
  20. Jenkinson D. 1992. La Materia Orgánica del Suelo: Evolución. En: Wild A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Madrid. Mundi-Prensa.
  21. Jeris, J.S., Regan, R.W (1973). Controlling Environmental Parameters for Optimun Composting. Part II, *Compost Sci.* 14 pp: 8-15.

22. Liang , C; Das, K.C & McClendon, R (2003) *The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend*. *Bioresource Technology* 86 (2003) 131–137
23. Macías, L.M; Páez, M.A y Torres, G. (2018) *La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos desde una perspectiva territorial en el estado de Hidalgo y sus municipios* (Tesis maestría, centro de investigación en Ciencias de información geoespacial, A.C) Recuperado de: <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/281/1/78-2018-Tesis-MarstrosenPlaneacionEspacial.pdf>
24. Madejón, E., Díaz, M.J., López, R., Cabrera, F. (2002). New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. *Biores. Technol.*, 85: 73-78.
25. Makan, A., Assobhei, O y Mountadar, M (2014). In-vessel composting under air pressure of organic fraction of municipal solid waste in Azemmour, Morocco. *Water Environ . J.* 28(3), 401 -409.
26. McAllister, J. (2015). Factors Influencing Solid-Waste Management in the Developing World. All Graduate Plan B and other Reports, 5, 528. Recuperado a partir de <https://digitalcommons.usu.edu/gradreports/528>
27. Meléndez, G. y Soto, G (2004) *Como medir la calidad de los abonos orgánicos*. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología, no. 72, p. 91-97.
28. Miyatake, F y Iwabuchi, K (2006). Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Biores. Technol.*, 97: 961–965
29. Navarro, J. (2022). Definición de Normatividad mexicana (normas NOM y NMX). Definición ABC. Desde <https://www.definicionabc.com/derecho/normatividad-mexicana.php>
30. ONU-Habitat (Organización de las Naciones Unidas, ONU-Habitat) (2010). *Water and sanitation in Latin America and the Caribbean*, Río de Janeiro: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Recuperado de: <http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3069>

31. Orejuela, E. (2015). *Impacto del Programa de educación ambiental (Educambiente) en las actitudes y cultura ambiental de niños de 1º grado de secundaria de dos colegios pilotos de la ciudad de Trujillo - Perú*. Tesis para optar el grado de doctor en Medio Ambiente. Universidad Nacional de Trujillo - Perú pp. 15-26.
32. Paccha, P. (2017). *Plan integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos en zonas urbanas para reducir la contaminación ambiental*. Tesis para optar el grado académico de Maestro en ciencias con mención en: Gestión ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería ambiental. Lima-Perú. pp 21-24
33. Périou, C. (2012). Waste: The challenges facing developing countries. *Proparco's Magazine*, 1-27
34. Poincelot, Raymond P (1974). *Gardening Indoors with House Plants*. California: Rodale Press, Inc
35. Ravindran, B & Sekaran, G (2010) Bacterial composting of animal fleshing generated from tannery industries, *Waste Management*, Vol (30) p. 2622-2630, recuperado de : <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.07.013>.
36. Rodríguez, M., & Córdova, A. (2006). *Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos*. Recuperado de :<http://www.resol.com.br/cartilha5/Manual%20de%20Compostaje-SERMANAT-Mexico.pdf>
37. Rodríguez, Q.G., M.J. Paniagua. 2005. El vermicomposteo de biosólidos y agua tratada en el noroeste de México; Ecoparque, un caso de estudio. México: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS).
38. Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/documents/card/es/c/1cea1861-e379-57f9-988e93be04982954/>
39. Ruiz, M. (2020). Estado actual de la contaminación ambiental presente en la Mixteca Oaxaqueña. *Journal of Negative and No Positive Results*, 5(5), 535-553. Epub 19 de octubre de 2020. <https://dx.doi.org/10.19230/jonnpr.3257>
40. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Recuperado de: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12eng/pdf/Informe\\_2012.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12eng/pdf/Informe_2012.pdf)

41. SEMARNAT. (2016). Organismos Operadores en funcionamiento. Recuperado el 9 de julio de 2018, recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/organismos-operadores-enfuncionamiento>
42. SEMARNAT (2017). *Indicadores básicos del desempeño ambiental-residuos sólidos*. Recuperado de: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores14/conjuntob/00\\_conjunto/marco\\_conceptual3.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores14/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual3.html)
43. SEMARNAT, *Planes de Manejo (RME)*. México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/planes-de-manejo-rme>.
44. SEMARNAT- INE (2004). *Contaminación por pilas y baterías en México*.
45. Soto, G y Melendez, G. (2003) Compost: ¿Abono o enmienda? ¿Cómo medir la calidad de un compost? En: Memorias Taller de Abonos Orgánicos. Costa Rica: CATIE, GTZ, CANIAN, 2003.
46. Suler, D.J y Finstein, S. (1977). Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO<sub>2</sub> Formation in Bench-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33 (2): 345-350
47. Troschinetz, A. M., and Mihelcic, J. R. (2009). Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*, 29(2), 915-923
48. Vian, Velasco & García (2019) Residuos sólidos urbanos: una problemática ambiental y oportunidad energética. *Ciencia UANL* (97) recuperado de: <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=9350>
49. Wehenpohl G, Heredia P, Hernández C, de Buen B.(2004) Guía de Cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT2003. Primera edición.
50. Wei D, Xu-Ri, Liu YW et al. (2014) Three-year study of CO<sub>2</sub> efflux and CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> Ofluxes at an alpine steppe site on the central Tibetan Plateau and their responses to simulated N deposition. *Geoderma*, 88 -96.
51. Wei, L., Shutao, W., Jin, Z., Tong, X (2014). Biochar influences the microbial community structure during tomato stalk composting with chicken manure. *Biores. Technol* . 154, 148 -154.
52. Zaman, A. U. and Lehmann, S., 2011. Challenges and Opportunities in Transforming a City into a “Zero Waste City”.

## Anexo

### Plan operativo

(punto generación-almacenamiento temporal, gestión)

### Procedimiento de recepción o generación

El plan operativo es aplicable para residuos sólidos urbanos generados en las casas-habitaciones de la colonia de Fraccionamiento villas Xoxo II del municipio de Santa cruz Xoxocotlán

#### *Identificación del tipo de residuo generado*

A partir del estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos, se contabilizaron un total de 197.211 kg, con una generación per-cápita promedio de 0.33 kg/hab/día a partir del cual se estableció el manejo de los residuos orgánicos e inorgánicos, la **Tabla 1** muestra la cantidad y tipo de residuo resultado de la prueba de productos y subproductos que están distribuidos de acuerdo con el porcentaje que representan del total de residuos y para este caso se seleccionaron los de mayor valor para trabajar con ellos en la etapa de aprovechamiento.

#### **Punto de generación:**

El plan operativo es aplicable para residuos sólidos urbanos generados en las casas-habitaciones de la colonia de Fraccionamiento villas Xoxo II del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán

Para el almacenamiento primario de los residuos sólidos urbanos generados en la colonia Villas Xoxo II, en el fraccionamiento se colocarán contenedores de un tamaño adecuado. Estos contenedores dependerán del tipo de residuo que se genere, según se indica en la **Tabla 2**, para los inorgánicos se asignarán los recipientes ubicados en los espacios de área común de los fraccionamientos para favorecer la separación de los desechos de comida que se hará de forma individual en cada casa participante.

**Tabla 1.** Productos y subproductos

Subproducto	Cantidad promedio (kg)	Porcentaje representativo %
Residuos alimenticios Residuos orgánicos (alimenticios y de poda)	21.50	78
Cartón	0.91	3.24
Cartón encerado	1.19	2.12
Plástico rígido	1.45	5.17
Plástico de película	0.72	2.57
PET	0.35	1.25
Lata	0.30	1.07
Vidrio	0.37	1.32
Papel	0.80	2.82

Para el caso de la separación de residuos inorgánicos, se propone la utilización de colores y logos que favorezcan la identificación y almacenamiento. Procurar que aquellos recipientes tales como, latas, PET y aluminio, no contengan residuos de líquido para evitar lixiviados durante el almacenamiento. Los desechos de jardinería, orgánicos y los residuos de aceites producto de las actividades de la cocina en las casas habitación se tratarán con el método de compostaje.

**Tabla 2.** Separación de residuos orgánicos en el punto de generación

<b>Residuo</b>	<b>Orgánico</b>	<b>Inorgánico</b>
Residuos alimenticios	<b>X</b>	
Cartón		<b>X</b>
Cartón encerado		<b>X</b>
Plástico rígido		<b>X</b>
Plástico de película		<b>X</b>
PET		<b>X</b>
Lata		<b>X</b>
Vidrio		<b>X</b>

Se colocarán botes de basura con el logotipo y clasificación siguiente:

- **Latas/tetrapack**

El contenedor se dividirá en dos partes donde en una se depositarán las latas, éstas se pueden diferenciar entre varios tipos como son latas de aluminio, latas de lámina, fierro, cobre, bronce., y por otro lado irá el residuo de tetrapack o tetrabrick, este tipo de envases va separado del cartón, ya que contienen elementos como plástico y aluminio; su reciclaje se centra en obtener los elementos que conforman el envase.

Ejemplos de latas: Latas de cerveza, refresco, jugos, etc.

Ejemplos de tetrapack: Cajas de leche, purés, malteadas, jugos, etc.

Recomendaciones:

Para el correcto depósito de los materiales en el contenedor es importante recordar que no se pueden mezclar, por lo que se necesita atención en colocarlo en el espacio correcto designado para cada residuo, para ambos casos, es necesario retirar la totalidad del líquido que estos contengan y de ser posible enjuagarlas para evitar atraer

insectos o generar malos olores en aquellas latas que tengan sobrantes de líquidos con azúcar.

En el caso del tetrapack una vez que se escurra el líquido sobrante, deberá enjuagarse el envase con agua y después se dejará secar por un rato., para evitar tener mayor volumen se recomienda compactar el residuo apastándolo o abriendo un lado completo del envase.

- **Papel y cartón**

El cartón y papel son materiales que pueden tener un segundo uso evitando el consumo de nuevas materias primas, estos se convierten en una pulpa que se utiliza para hacer nuevos productos

Ejemplos: Cajas de cartón, cajas de medicamentos, empaques, cartón de las cajas que contienen productos, el del papel higiénico, los cartones de huevos, hojas blancas, papel bond, cuadernos, libros, revistas, catálogos, cuadernos, calendarios, facturas, directorios telefónicos, envases de cartón, sobres, carpetas y folletos.

*Recomendaciones:*

Para el reciclaje del cartón es conveniente retirar todas las etiquetas adhesivas que pueda tener o cualquier grapa, así mismo se recomienda evitar que contenga restos de materia orgánica, por ejemplo, con aceites o grasas, es preferible no reciclarlo porque contamina el proceso y no puede ser aprovechable.

En el caso del papel es necesario recordar que si vas a reciclar cuadernos primero debes eliminar el espiral, lo mismo aplica para los cuadernos que tienen grapas o cinta adhesiva y otros elementos contaminantes que no sean del mismo material antes de depositarlo en el contenedor correspondiente.

Dentro de esta clasificación no entra: papel de cocina, ni servilletas de papel que están manchadas, papel de aluminio o sanitario, ni cartones manchados con grasa, etiquetas adhesivas, fotos o radiografías.

- **Vidrio**

El vidrio es un material que se puede reciclar en múltiples ocasiones y que conserva sus propiedades sin importar cuantas veces se utilice, esto ayuda a ahorrar energía, es menos costoso y ayuda a reducir el consumo de materia prima.

Existen dos tipos de vidrio, de color y transparente, los dos se depositarán en el mismo contenedor.

- Ejemplos: Envases de refresco, jugos, cervezas, mermeladas, aderezos, licores, frascos de alimentos, botellas de perfume y botellas de vidrio,

#### *Recomendaciones*

Los frascos de vidrio deben estar totalmente vacíos para evitar derrames en el contenedor, por otro lado, deben ir sin el corcho o tapón en caso de las botellas de vidrio ni las tapas de los frascos.

No se pueden incluir: Cerámica, porcelana, cristal de copas o vasos, bombillas, tazas, espejos, platos, vasos, pantallas del teléfono, vidrio de anteojos, tubos de ensayo y otros vidrios de laboratorio.

Es necesario diferenciar entre el cristal y el vidrio, en el caso del cristal no es reciclable por lo tanto no va en el mismo contenedor, las copas de cristal suelen ser más pesadas, transparentes, finas y delicadas. Sin embargo, la mayoría de los objetos como los envases de alimentos, botellas y tarros están hechas de vidrio.

- **Plástico**

Dentro de la categoría entran en la clasificación de plástico el PET, plástico blando y plástico rígido., estos tres tipos de plásticos pueden estar en un solo contenedor sin necesidad de dividirlos, solo que se necesita que estén totalmente vacíos, para que los líquidos sobrantes que tengan no se derramen.

PET: Se caracteriza por ser un plástico transparente, utilizado para elaborar botellas de refresco, agua y envases de comida, se puede identificar con el número 1

Plástico rígido: Es un plástico de similar uso al PET pero mucho más resistente y grueso, se usa para evitar contrastes de temperatura de los productos como leche o detergentes. También están hechas de HDPE algunas garrafas, incluso bolsas de plástico.

Plástico blando:

*Ejemplos de plásticos:*

Envases de refresco, agua, limpiadores de piso y aceite comestible, envases de yogurt, frascos de medicinas, botes de shampoo, tinte, cloro, cremas, etc., desecho de cubetas, jícara, juguetes, rejillas de refresco, garrafas, etc.

*Recomendaciones:*

El plástico PET puede aplastarse, para hacer menos volumen y sin tapa, deberán vaciarse por completo y una vez que ya no contenga producto en el envase enjuagarse para limpiarlos por completo y ser depositados en el contenedor correspondiente.

El contenedor está destinado exclusivamente a envases por lo que no se podrá depositar: juguetes, carros de la compra, CD's, DVD's o sartenes, residuos como bolígrafos, sacapuntas, sillas, cables eléctricos, cañerías, tubos.

### Simbología para la identificación de residuos en los contenedores



Se utilizará una simbología con un color correspondiente para diferenciar cada uno de los residuos sólidos urbanos de acuerdo con la guía de diseño para la identificación gráfica del manejo de residuos que establece la SEMARNAT con el fin de lograr identificar de forma visual la separación correcta de cada residuo, para este caso los contenedores deberán tener un color estándar y las etiquetas respetarán su color y simbología como se muestra en la **Figura 1**.





Figura 1. Ejemplo del contenedor con la etiqueta

Se seleccionaron las etiquetas en positivo de los residuos como se muestra a continuación en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Etiquetas para los contenedores de acuerdo con el tipo de residuos

Tipo de residuo	Etiqueta
Latas/Tetrapack	
Papel y cartón	

Vidrio	
Plástico	

### **Almacenamiento temporal**

Se propone utilizar de manera consensuada parte de las áreas verdes comunes ubicadas dentro de los condominios que participan en el programa de aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos, para el almacenamiento temporal de los residuos sólidos generados con un tiempo mínimo de almacenamiento de un mes, para posteriormente ser recolectados por la empresa contratada para su aprovechamiento (empresa elegida por los colonos). Estos espacios son de fácil acceso y permiten su limpieza periódica, además se colocarán los contenedores destinados para el almacenamiento temporal con tapa para evitar el escurrimiento de agua y del tamaño adecuado al volumen de residuos que se generen.

### **Aprovechamiento y/o valorización de residuos**

#### *Orgánicos*

Para el caso de los residuos orgánicos el aprovechamiento consiste en la realización de un proceso de biodegradación microbiana aerobia controlada (compostaje) que consiste en la transformación de residuos orgánicos en abono.

### Materiales:

- Un recipiente (huacal o cubeta) con orificios en la parte inferior
- Tijeras de jardinería
- Pala pequeña
- Regadera o manguera o cubeta con agua
- Criba, malla mosquitero
- Guante

### *Qué va en la composta*

- Cáscara de frutas y verduras
- Cáscara de huevo (en trozo o pulverizados)
- Semillas
- Granos o restos de café
- Hojas, flores y plantas verdes o secas
- Papel de cocina
- Restos de cocina

### *No se incluye:*

- Lácteos
- Papel higiénico (Usado en servicios sanitarios)
- Harinas y cereales
- Aceites
- Papeles impresos
- Excrementos de mascotas
- Pañuelos usados

### **Procedimiento:**

Separación en la fuente de los residuos orgánicos de acuerdo con la lista proporcionada, así como de los residuos inorgánicos.

Acondicionamiento de los residuos: Antes de preparar la composta es necesario reducir el tamaño de los residuos para facilitar la descomposición para esto se trituran los residuos hasta obtener un tamaño entre 5 y 10 cm.

Dentro del recipiente o contenedor ir depositando el material cuarteado de la siguiente forma:

10. Colocar una cama de 10 cm. de material vegetal seco (ramas, hojas secas) triturados dentro del recipiente
11. Agregar encima una capa de suelo de 10 cm. y humedecer
12. Agregar una capa de restos vegetales domésticos de 5 cm.
13. Finalmente, una capa de suelo de 10 cm. y humedecer

#### *Recomendaciones*

Se puede tapar el recipiente dejando orificios para su aireación o dejarlo destapado, de preferencia colocar el recipiente en un sitio donde la lluvia no le afecte y humedecer 2 veces por semana la composta y por último después de cuatro semanas voltear y homogeneizar.

#### *Problemas y cómo solucionarlos:*

<i>Problema</i>	<i>Causa</i>	<i>Solución</i>
Mal olor (podrido)	Falta de oxígeno, exceso de humedad	Agregue más desechos secos (como los recortes de hojas secas) y si la presión es demasiado firme, mezcle bien el compost y gírelo para mantener la humedad uniforme.
La composta está muy seca	Falta de humedad y exceso de temperatura	Añade agua y mezcla bien
Aparecen moscas o mosquitos	No tapar con tierra los residuos frescos	Añadir una capa de tierra de unos 10 cm.

El proceso es lento	Falta de aire, agua o nitrógeno.	Si el material es insuficiente, se deben agregar más desechos de cocina, se debe agregar agua si falta agua y se debe realizar una aireación (estiércol mezclado y removido) si falta oxígeno.
Hay germinados en la composta	La temperatura es más baja de la que debería ser	La rotación ayuda a elevar la temperatura porque hace que la temperatura suba. Una vez a la semana puede ser suficiente.

*Características para saber cuándo el compostaje esté listo para utilizarse:*

Después de 2.5 meses la materia prima se ha transformado en humus

Olor: Debe ser agradable (como a tierra de bosque)

- Color negro o marrón
- De textura ligera, se aprieta fácilmente en la mano

Es hora de separarlos y usarlos en el jardín como acondicionador de suelo y en los huertos.

Una vez que el compost esté listo, guárdelo en una bolsa y guárdelo en un lugar seco hasta que pueda usarlo para fertilizar su jardín o maceta

Debe estar frío debido a la falta de actividad bacteriana

*Usos de la composta*

La composta tiene ventajas adicionales al suelo:

1. Sirve como abono para plantas, hortalizas, y árboles.
2. Nutre el suelo y mejora sus propiedades.
3. Beneficia al medio ambiente.
4. Devuelve nutrientes a los ciclos naturales.

5. Retiene la humedad.
6. Sirve como antibiótico en contra de microorganismos dañinos.

Las aplicaciones que se le pueden dar a la composta son variadas entre:

1. Mezclarla con tierra donde se sembrarán o trasplantarán flores.
2. Se puede agregar a un huerto con hortalizas que requieren muchos nutrientes
3. Y la composta no se usa únicamente en plantas pequeñas. También es una adición increíble al sembrar y abonar árboles.
4. Por último, una mezcla de 40% composta y 60% tierra hacen un sustrato ideal para poner en un semillero.

### **Valorización de residuos Inorgánicos**

Se pretende recuperar el valor de los residuos seleccionados en el plan operativo con el objetivo principal de concientizar sobre el aprovechamiento que tiene beneficios económicos, sociales y ambientales.

Se promoverá la actividad del reciclaje como eje principal del plan operativo a partir de los residuos seleccionados que generalmente se comercializan como se muestran en la siguiente tabla

Tabla 4. Lista de empresas que aceptan los residuos y centros de acopio

<b>Residuo</b>	<b>Empresa</b>	<b>Contacto</b>
Plástico	Grupo CIMA de Oaxaca S.A de C.V	Planta: Cinco de mayo No. 1, Santa María Coyotepec, Oax. Tel. Planta. 01 951 56 90184 Cel. 951 56 90 184. Contacto: Ing. Alberto Cisneros Morales. Gerente. e-mail: <a href="mailto:cimamx1@hotmail.com">cimamx1@hotmail.com</a>
Plástico Envases	Ambioental. Reciclados & Soluciones Ambientales	Recepción en Carretera Internacional 4006-B, Col. San Isidro, Pueblo Nuevo.

<b>Residuo</b>	<b>Empresa</b>	<b>Contacto</b>
Tetra Pack. Cartón		(Adelante del monumento a Juárez en Trinidad de Viguera) de 8 a 6 p.m. Oficina: Av. Cuauhtémoc 513 altos, Centro, Oax. Contacto: Arq. Matusalén Nicolás Pérez. Cel.: 9511099930, 9511035745, 9512096571 <a href="mailto:ambiental@live.com.mx">ambiental@live.com.mx</a>
	LAVATAP LIMPIEZA S.A. DE C.V.	Soconusco # 222 Interior 1, Col. Volcanes, Oaxaca Tel. (951) 2576593
Plásticos, Papel, Cartón	C. DAVID PÉREZ MARCIAL	Calle Cascada No. 2, Col. 12 De Julio. San Bartolo Coyotepec, Oaxaca Tel. 9512304026
Plástico	Ecocel	Km. 9.5 Carret. Oaxaca-Pto. Ángel. Paraje el Rancho, Santa María Coyotepec. (A un lado de concretox) Contacto. Lic.Norma Taja Mestre Cel. 951 171 59 89
Cartón y papel	Corporativo Industrial para el Acopio, la Transferencia y el Reciclaje de pape	Calle Sabinos #100 Col. Paraje la Humedad Trinidad de Viguera. Contacto: Edith Abad Sánchez. Tel. 951 170 35 57 Bodega: 951 52 28100
	GASA	Libramiento Norte No. 16 Trinidad Viguera, Oaxaca, Grupo GASA C. Samuel García. Tel. 01 951 51 2 82 06
	Recicla papel	Sabinos No. 100 Paraje la Humedad Trinidad Viguera, Oaxaca. Tel: 51 2 80 56 Araceli Abad Sánchez

<b>Residuo</b>	<b>Empresa</b>	<b>Contacto</b>
Vidrio, PET, Cartón, Papel	C. Arturo Sánchez Cruz	Carretera a puerto Escondido S/N, Col. Centro, Animas Trujano, Oaxaca. Tel: 9515156486

Fuente: SEMAEDESO, 2022.

### **Destino Final**

Los residuos mencionados dentro de la clasificación podrán ser aprovechados en reciclaje y método de composta, sin embargo, existen a su vez residuos que no se pueden reciclar y no se incluyen en el plan operativo, como son los residuos de control sanitario (biológico-infeccioso) que son todos los desechos con fluidos corporales y que se utilizan para curar heridas como: jeringas, gasas, curitas, algodones, vendas, preservativos como condones masculinos y femeninos, pañales de adulto, medicamentos caducos y papel sanitario

Por otro lado, existen otro tipo de residuos no reciclables que no entran en ninguna clasificación como vasos, platos y cucharas desechables, rastrillos, pastas dentales, empaque de jabón, focos, zapatos, ropa.

Los residuos mencionados anteriormente serán entregados al camión recolector del municipio en la bolsa correspondiente.

### **Registro y seguimiento**

Para mayor control y estimación aproximada de los residuos generados se recomienda llevar una bitácora que registre la cantidad de residuos generados de acuerdo con la clasificación y se debe implementar en la fase de generación y almacenamiento temporal en un tiempo determinado.