



CHIHUAHUA, CHIHUAHUA, A 18 DE MARZO DE 2025  
Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES.

**ING. CARLOS MIER Y TERÁN ORDIALES**

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE BANCA DE INVERSIÓN Y  
DELEGADO FIDUCIARIO

BANCO NACIONAL DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS, S.N.C.

P R E S E N T E.-

**Referencia:** Solicitud de Apoyo

No Recuperable para el Proyecto de Gestión Integral  
de Residuos en el Municipio de Chihuahua, Chihuahua.

Ante la problemática planteada por la saturación del Relleno Sanitario del Municipio de Chihuahua que está llegando a su máxima vida útil, el Municipio de Chihuahua durante el ejercicio 2023 y con un Apoyo No Recuperable autorizado mediante Acuerdo **SEF/2º/18-MAYO-2022/IX**, desarrolló los estudios que nos permitieron estructurar el **Proyecto de Gestión Integral de Residuos en el Municipio de Chihuahua (PROYECTO)**, el cual tiene como fin mejorar la recolección y transferencia de los residuos en el municipio, así como priorizar la separación y valorización sobre la disposición final, logrando así para la población del Municipio de Chihuahua los siguientes beneficios:

- (i) Evitar la contaminación del subsuelo y mantos acuíferos al proteger el suelo y canalizar los lixiviados;
- (ii) Disminución en la contaminación del aire al controlar los gases invernadero generados por la basura, como el metano, del relleno existente;
- (iii) Revalorización al máximo de los residuos;
- (iv) Contar con un moderno sitio de disposición final para los RSU y RME generados;
- (v) Mejora en la provisión de servicios públicos municipales;
- (vi) Cumplimiento con la normatividad ambiental nacional e internacional.

*"2025, Año del Bicentenario de la Primera Constitución del Estado de Chihuahua"*

**Despacho Presidencia Municipal**

Av. Independencia No. 209 Col. Centro CP 31000, Chihuahua, Chih.  
Conmutador 072 Tel. (614) 200 48 00 | [municipiochihuahua.gob.mx](http://municipiochihuahua.gob.mx)



De tal manera que el PROYECTO está alineado con el **Objetivo 11** "Ciudades y Comunidades Sostenibles", al **Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024**, en su Capítulo II. Política Social en específico con el tema "Desarrollo Sostenible", al **Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT) 2020-2024**, en su Objetivo

Prioritario 2. "Fortalecer la acción climática a fin de transitar hacia una economía baja en carbono y una población, ecosistemas, sistemas productivos e infraestructura estratégica resilientes, con el apoyo de los conocimientos científicos, tradicionales y tecnológicos disponibles"; en específico a su Estrategia Prioritaria 2.2. "Diseñar, establecer y coordinar políticas e instrumentos para reducir emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, así como promover y conservar sumideros de carbono, en concordancia con los compromisos nacionales e internacionales".

No omito mencionar que a la fecha, el PROYECTO cuenta con **la Clave de Cartera 24166120001** de la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público vigente.

Por lo anterior, me permito solicitar su valioso apoyo para gestionar ante los Órganos Colegiados del Fideicomiso Número 1936, Fondo Nacional de Infraestructura (FONDO), al amparo del Programa de Residuos Sólidos Municipales (PRORESOL), el otorgamiento de un Apoyo No Recuperable en la modalidad de Aportación de **hasta el 50% (cincuenta por ciento)** del Costo Total de la Primera Etapa del PROYECTO, el cual se estima en **\$827,818,043.00** (Ochocientos veintisiete millones ochocientos dieciocho mil cuarenta y tres pesos 00/100 M.N.), sin incluir el Impuesto al Valor Agregado, los cuales se integran por los componentes siguientes:

1. **Estación de Transferencia "ET"** de RSU para el Nuevo Relleno Sanitario Metropolitano: **\$168,584,589.00** (Ciento sesenta y ocho millones quinientos ochenta y cuatro mil quinientos ochenta y nueve pesos 00/100 M.N.), sin incluir el Impuesto al Valor Agregado.
2. Construcción, mantenimiento y operación de una **Planta de Procesamiento de RSU y RME** para conversión a Combustible Derivado de Residuos (CDR): **\$659,233,454.00** (Seiscientos cincuenta y nueve millones doscientos treinta y tres mil cuatrocientos cincuenta y cuatro pesos 00/100 M.N.), sin incluir el Impuesto al Valor Agregado.

*"2025, Año del Bicentenario de la Primera Constitución del Estado de Chihuahua"*

**Despacho Presidencia Municipal**

Av. Independencia No. 209 Col. Centro CP 31000, Chihuahua, Chih.  
Conmutador 072 Tel. (614) 200 48 00 | [municipiochihuahua.gob.mx](mailto:municipiochihuahua.gob.mx)



Además, manifiesto nuestra conformidad para apegarnos a las Reglas de Operación y directrices del FONDO y del PRORESOL, así como la normativa federal aplicable. Se adjunta la Ficha con la descripción del Proyecto, conforme al Anexo 2 de las Reglas de Operación del Fondo Nacional de Infraestructura (FONDO).

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

**MARCO ANTONIO BONILLA MENDOZA**

Presidente Municipal de Chihuahua

c.c.p. Carlos Andrés Puente López. - Director de Agua, Energía y Medio Ambiente BANOBRAS. - Presente.

c.c.p. Leonardo Pérez Sosa. - Director General de Fomento Ambiental, Urbano y Turístico SEMARNAT. – Presente.

*"2025, Año del Bicentenario de la Primera Constitución del Estado de Chihuahua"*

**Despacho Presidencia Municipal**

Av. Independencia No. 209 Col. Centro CP 31000, Chihuahua, Chih.  
Conmutador 072 Tel. (614) 200 48 00 | [municipiochihuahua.gob.mx](http://municipiochihuahua.gob.mx)



---

# FICHA CON LA DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO ANEXA AL OFICIO NO. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. DEL 18 DE MARZO DE 2025.

---

**Anexo 2 de las Reglas de Operación del  
Fondo Nacional de Infraestructura**

18 DE MARZO DE 2025

**MUNICIPIO DE CHIHUAHUA**

Calle Victoria #14 Piso 5, Colonia Centro CP 31000, Chihuahua, Chih.

## Tabla de Contenido

---

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Nota Aclaratoria:.....                                                         | 6  |
| 1. Resumen Ejecutivo .....                                                     | 7  |
| 2. Situación del Proyecto y posibles soluciones. ....                          | 12 |
| Diagnóstico de la situación actual .....                                       | 12 |
| Generación Per Cápita a Nivel Nacional .....                                   | 12 |
| Caracterización de los RSU a Nivel Nacional .....                              | 15 |
| Residuos de Manejo Especial .....                                              | 16 |
| Recolección, Traslado, Equipamiento y Disposición Final a Nivel Nacional ..... | 17 |
| Localización geográfica del área de influencia .....                           | 22 |
| Área de Influencia y Localización Geográfica .....                             | 22 |
| Geomorfología .....                                                            | 24 |
| Climatología .....                                                             | 24 |
| Fisiografía .....                                                              | 26 |
| Topografía .....                                                               | 27 |
| Aspectos Ambientales .....                                                     | 28 |
| Aspectos sociodemográficos .....                                               | 30 |
| Análisis Demográfico .....                                                     | 30 |
| Crecimiento Urbano .....                                                       | 34 |
| Economía .....                                                                 | 34 |
| Servicios .....                                                                | 35 |
| Mercado .....                                                                  | 36 |
| Marginalidad .....                                                             | 36 |
| 3. Descripción del Proyecto .....                                              | 38 |
| Descripción del Proyecto .....                                                 | 38 |
| Ampliación del Relleno Sanitario Actual .....                                  | 39 |
| Estación de transferencia .....                                                | 40 |
| Sitio de disposición final y Relleno Sanitario .....                           | 42 |
| Planta de tratamiento de RSU, CDR .....                                        | 44 |
| Clausura, monitoreo y mantenimiento del relleno sanitario actual .....         | 48 |
| 4. Promotores del Proyecto .....                                               | 50 |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5. Análisis Económico del Proyecto .....                                                        | 51 |
| Identificación, cuantificación y valoración de costos del Proyecto .....                        | 51 |
| Costo de inversión inicial .....                                                                | 51 |
| Costos de mantenimiento mayor o reinversiones .....                                             | 54 |
| Costos de Operación y Mantenimiento .....                                                       | 54 |
| Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del Proyecto de Inversión .....   | 59 |
| Beneficios .....                                                                                | 61 |
| Valorización de materiales reciclables .....                                                    | 61 |
| Valorización de residuos mediante la generación de Combustible Derivado de Residuos (CDR) ..... | 64 |
| Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> por ahorro en transporte .....                        | 66 |
| Ahorro en costos de operación (OPEX) en transporte .....                                        | 67 |
| Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Dióxido de Carbono equivalente) .....    | 67 |
| Cálculo de los indicadores de rentabilidad .....                                                | 73 |
| Análisis de sensibilidad .....                                                                  | 74 |
| Análisis de Riesgos .....                                                                       | 76 |
| 6. Conclusiones .....                                                                           | 77 |

## Listado de Tablas

---

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Recursos Solicitados al FONADIN .....                                                                            | 6  |
| Tabla 2 Localización Geográfica del Proyecto.....                                                                        | 8  |
| Tabla 3 Descripción de los principales costos del proyecto .....                                                         | 9  |
| Tabla 4 Monto Total de Inversión del PPI .....                                                                           | 10 |
| Tabla 5 Generación Per Cápita en México .....                                                                            | 13 |
| Tabla 6 Comparación de los valores de GPC obtenidos contra datos de literatura .....                                     | 13 |
| Tabla 7 Generación per Cápita de Residuos por Región.....                                                                | 14 |
| Tabla 8 Generación Per Cápita por Tamaño de Municipio.....                                                               | 14 |
| Tabla 9 Composición Porcentual Promedio de los Residuos.....                                                             | 15 |
| Tabla 10 Generación y Recolección de RSU por Entidad Federativa.....                                                     | 17 |
| Tabla 11 Cobertura de Recolección por Tamaño de Municipio .....                                                          | 18 |
| Tabla 12 Cobertura de Recolección por Tamaño de Municipio.....                                                           | 19 |
| Tabla 13 Cantidad de Residuos que Ingresan a las Plantas de Aprovechamiento a Nivel Nacional.....                        | 20 |
| Tabla 14 Cantidad de Residuos que Ingresan a las Plantas de Aprovechamiento a Nivel Nacional.....                        | 21 |
| Tabla 15 Información principal del clima en el Municipio de Chihuahua .....                                              | 25 |
| Tabla 16 Número de habitantes por municipio en el estado de Chihuahua. ....                                              | 32 |
| Tabla 17 Proyección de Crecimiento Poblacional.....                                                                      | 33 |
| Tabla 18 Proyección de Crecimiento Poblacional (Densidad) .....                                                          | 34 |
| Tabla 19 Mercados, tiendas de autoservicio y plazas en el Municipio de Chihuahua .....                                   | 36 |
| Tabla 20 Ventajas y desventajas de algunos los principales procesos de tratamiento de RSU para su conversión a CDR. .... | 46 |
| Tabla 21 Costos de Operación y Mantenimiento del NRSM.....                                                               | 54 |
| Tabla 22 Costos de Operación y Mantenimiento de la ET .....                                                              | 56 |
| Tabla 23 Costos de Operación y Mantenimiento de la Planta de Separación.....                                             | 58 |
| Tabla 24 . Costos de Operación y Mantenimiento del Sitio Clausurado .....                                                | 59 |
| Tabla 25 Composición de RSU y RME por categoría .....                                                                    | 61 |
| Tabla 26 Composición de la Fracción Inorgánica Recuperable (FIR) .....                                                   | 61 |
| Tabla 27 Precios de mercado de reciclables .....                                                                         | 62 |
| Tabla 28 Valorización de los materiales reciclables.....                                                                 | 63 |
| Tabla 29 Valorización de CDR .....                                                                                       | 65 |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 30 Valorización de emisiones evitadas por transporte .....                                                     | 66 |
| Tabla 31 Ahorros en Costos de Operación.....                                                                         | 67 |
| Tabla 32 CH <sub>4</sub> generado (Ecuación 5) por Categoría de residuos (Ton/año) en Tiradero a Cielo Abierto ..... | 69 |
| Tabla 33 CH <sub>4</sub> generado (Ecuación 5) por Categoría de residuos (Ton/año) en Relleno Sanitario .....        | 70 |
| Tabla 34 Emisiones de CH <sub>4</sub> en CO <sub>2</sub> equivalente evitadas con Proyecto .....                     | 71 |
| Tabla 35 Valorización de las Emisiones de CH <sub>4</sub> evitadas con Proyecto.....                                 | 72 |
| Tabla 36 Indicadores de Rentabilidad .....                                                                           | 74 |
| Tabla 37 Sensibilidad Monto de Inversión .....                                                                       | 74 |
| Tabla 38 Sensibilidad Costos de Mantenimiento y Operación .....                                                      | 75 |
| Tabla 39 Sensibilidad Beneficios.....                                                                                | 75 |
| Tabla 40 Análisis de Riesgos .....                                                                                   | 76 |
| Tabla 41 Conclusiones. Indicadores de Rentabilidad .....                                                             | 77 |

**Listado de Figuras**

---

Figura 1 Porcentaje de Territorio y Ubicación del Estado de Chihuahua..... 23

Figura 2 Ubicación del Municipio de Chihuahua ..... 24

Figura 3 Climas del Estado y Municipio de Chihuahua ..... 25

Figura 4 Fisiografía del Estado Chihuahua y del Municipio de Chihuahua ..... 26

Figura 5 Mapa Topográfico de Chihuahua..... 28

Figura 6 Diagrama de emisiones de GEI para México, 2010. (SEMARNAT/INECC, 2012)..... 30

Figura 7 Población total y tasa de crecimiento promedio anual, 1895-2020 ..... 31

Figura 8 Estructura de la Población 2000, 2010 y 2020..... 31

Figura 9 Desigualdad social según GINI en Chihuahua (2020)..... 37

Figura 10 Distribución de Personas Según Condición de Pobreza ..... 38

Figura 11 Proceso del Proyecto ..... 40

Figura 12 Terreno del Nuevo Relleno Sanitario Municipal..... 42

Figura 13 Diagrama del NRSM ..... 43

Figura 14 Tabla de Volúmenes de celdas y capacidad..... 44

Figura 15 Gráfico de Flujo de Masa ..... 48

## Nota Aclaratoria:

El Municipio de Chihuahua durante el ejercicio 2023 y con un Apoyo No Recuperable autorizado mediante Acuerdo SEF/2ª/18-MAYO-2022/IX, desarrolló los estudios que nos permitieron estructurar el “**Proyecto de Gestión Integral de Residuos en el Municipio de Chihuahua**” (PROYECTO).

Por ello se presenta en este Anexo 2 de las Reglas de Operación del Fondo Nacional de Infraestructura para el PROYECTO que incluye cinco componentes, a saber:

1. La ampliación del Relleno Sanitario Actual
2. La Estación de Transferencia
3. El Nuevo Relleno Sanitario
4. La Planta de Procesamiento
5. El Cierre y Clausura del Relleno Sanitario Actual

Sin embargo se hace énfasis de que los recursos solicitados en este momento se refieren a los componentes 2 y 4 de la lista anterior, de la siguiente manera:

Tabla 1 Recursos Solicitados al FONADIN

| Concepto                              | Monto Proyecto Integral | Monto Solicitado Marzo 2025 |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Ampliación del Relleno Sanitario      | \$56,678,528            |                             |
| Estación de Transferencia             | \$168,584,589           | \$168,584,589               |
| Nuevo Relleno Sanitario               | \$243,664,880           |                             |
| Planta de Valorización                | \$659,233,454           | \$659,233,454               |
| Clausura del Relleno Sanitario Actual | \$92,484,000            |                             |
| Total Sin IVA                         | \$1,220,645,451         | \$827,818,043               |
| Total Con IVA                         | \$1,415,948,723         | \$960,268,930               |

# 1. Resumen Ejecutivo

El presente documento presenta la evaluación socioeconómica del “**Proyecto de Gestión Integral de Residuos para El Municipio de Chihuahua**” (**Proyecto**), dicha evaluación identifica, valora y cuantifica los costos y beneficios desde el punto de vista social, generados por este Proyecto.

La evaluación se desarrolla comparando la situación actual que prevalece (problemática) y una proyección de lo que pasaría en caso de mantener constantes los niveles actuales (situación sin proyecto), y se compara con la situación que se tendría en caso de ejecutar el Proyecto.

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivo del Proyecto     | Garantizar un servicio eficiente y sostenible en el tiempo mediante el cual se priorice el aprovechamiento de los residuos sobre la disposición final.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Tipo de PPI               | Proyecto de Infraestructura Social                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Problemática Identificada | <p>La problemática presentada puede dividirse en los siguientes puntos:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fin de la vida útil del Relleno Sanitario Actual: el relleno sanitario actual ha operado de manera ininterrumpida desde hace 29 años dando servicio a las Municipios de Aldama, Aquiles Serdán y Chihuahua y recibe en promedio 1,200 toneladas de residuos diarias; y dado que no se cuenta con ningún tipo de aprovechamiento, el Relleno Sanitario está llegando al final de su vida útil, la cual se estima llegue a su fin al concluir el año 2023, lo que hace imperante su reemplazo y ampliación.</li><li>• No se cuenta con infraestructura para el aprovechamiento: actualmente el Municipio de Chihuahua no cuenta con infraestructura que permita la separación y valorización de los residuos, por lo que todos los residuos que se generan son confinados, lo que ocasiona que la vida útil del Relleno Sanitario decrezca de forma más acelerada, se desperdicie el valor intrínseco de los residuos, no se cumpla con las metas federales, estatales y municipales en lo que respecta a una gestión sustentable de los residuos y además de que se propiciar la generación de gases efecto invernadero.</li></ul> |

---

El Proyecto se localizará dentro de los confines del Municipio de Chihuahua, sin embargo, tendrá diversas localidades, las cuales se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 2 Localización Geográfica del Proyecto

| Localización del PPI | Componente                                 | Coordenadas                                                       | Dirección                                                                                                                                                                              |
|----------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | Estación de Transferencia                  | 28°39'55.7" N<br>106°00'13.7" O<br>(28.665475, -106.003797)       | Ave Juan Pablo II a un costado de la PTAR Sur.                                                                                                                                         |
|                      | Ampliación del Sitio de Disposición Actual | 28°41'12.53" N, 105°59'32.28" O<br>(28.686813888, -105.9923)      | A 200 m de la calle "Valle del Rosario" y a 2,140 m del kilómetro 6 de la carretera "Chihuahua-Aldama", en terrenos expropiados al ejido de Tabalaopa, sobre la vialidad Fuerza Aérea. |
|                      | Sitio de Disposición Final                 | 28°29'59.84" N, 105°53'29.96" O<br>(28.499955555, -105.891655555) | Salida a Delicias, 1.5 km antes del Templo Católico San Judas Tadeo                                                                                                                    |
|                      | Clausura de SDF actual                     | 28°41'12.53" N, 105°59'32.28" O<br>(28.686813888, -105.9923)      | A 200 m de la calle "Valle del Rosario" y a 2,140 m del kilómetro 6 de la carretera "Chihuahua-Aldama", en terrenos expropiados al ejido de Tabalaopa, sobre la vialidad Fuerza Aérea. |

**Fuente:** Estudio Diagnóstico.

Dentro de los componentes del Proyecto se encuentra la construcción de una Estación de Transferencia, la cual se localiza sobre la Avenida Fuerza Aérea Mexicana entre la carretera Chihuahua-Ojinaga y el

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                | Blvd. Juan Pablo II, a una distancia aproximada de 6.5 km desde el centro de la ciudad y a 31 km. del Nuevo Relleno Sanitario Municipal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Breve descripción del Proyecto | <p>El Proyecto en mención, está enfocado en priorizar el aprovechamiento sobre el confinamiento de los residuos, para ellos se tiene contemplado desarrollar los siguientes componentes.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Ampliación del Relleno Sanitario Actual (500,000 m<sup>3</sup>).</li><li>• Construcción de un Nuevo Relleno Sanitario Municipal que pueda recibir y procesar las casi 1,140 toneladas diarias que se generan actualmente en los municipios de Chihuahua, Aquiles Serdán y Aldama.</li><li>• Construcción de un Estación de Transferencia. Dado que territorialmente Chihuahua es un municipio extenso, es necesario construir una Estación de Transferencia que disminuya los trayectos y a su vez los costos de transportación de las unidades de recolección.</li><li>• Planta de Valorización. Con la finalidad de disminuir el confinamiento de los residuos y buscar la sostenibilidad del Proyecto, se tiene contemplado la construcción de una Planta de Valorización de Residuos, y Procesamiento de Orgánicos.</li><li>• Clausura del Relleno Sanitario Actual. Es necesario clausurar el Relleno Sanitario Actual, para cumplir con la normatividad vigente y no dejar un pasivo ambiental en el municipio.</li></ul> |
| Horizonte de Evaluación        | Se contempla un horizonte de evaluación de 40 años, de los cuales dos años son de inversión.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                | A continuación. se presenta una tabla con los Principales costos de operación y mantenimiento del Proyecto.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

Tabla 3 Descripción de los principales costos del proyecto

|                                                    | Concepto                                            | Monto sin IVA (mdp) |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------|
| Descripción de los Principales costos del Proyecto | Gastos de operación de la ampliación                | \$53,334,537        |
|                                                    | Gastos de operación del Nuevo Relleno Sanitario     | \$ 39,441,939       |
|                                                    | Gastos de operación de la Estación de Transferencia | \$39,929,460        |
|                                                    | Gastos de operación de la Planta de Separación      | \$67,970,309        |
|                                                    | Total                                               | \$200,676,245       |

Como se puede apreciar en la tabla anterior los costos anuales de operación y mantenimiento rondan los **\$200.6 MDP**.

En resumen, los beneficios que se identificaron para este proyecto son:

Por un lado, los beneficios directos son:

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descripción de los Principales Beneficios del Proyecto | <ul style="list-style-type: none"><li>• Evitar la contaminación del subsuelo y mantos acuíferos al proteger el suelo y canalizar los lixiviados.</li><li>• Disminución en la contaminación del aire al controlar los gases invernadero generados por la basura, como el metano, del relleno existente.</li><li>• Revalorización al máximo de los residuos.</li><li>• Mejora en la provisión de servicios públicos municipales.</li><li>• Cumplimiento con la normatividad ambiental nacional e internacional.</li></ul> |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

El monto total de inversión del proyecto planteado es de **\$1,220,645,451** (Mil doscientos veinte millones seiscientos cuarenta y cinco mil cuatrocientos cincuenta y un pesos 00/100 M.N.) sin IVA y **\$1,415,948,723** (Mil cuatrocientos quince millones novecientos cuarenta y ocho mil setecientos veintitrés pesos 00/100 M.N.) con IVA.

Tabla 4 Monto Total de Inversión del PPI

|                                  | Concepto                              | Monto                  |
|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Monto Total de Inversión del PPI | Ampliación del Relleno Sanitario      | \$56,678,528           |
|                                  | Estación de Transferencia             | \$168,584,589          |
|                                  | Nuevo Relleno Sanitario               | \$243,664,880          |
|                                  | Planta de Valorización                | \$659,233,454          |
|                                  | Clausura del Relleno Sanitario Actual | \$92,484,000           |
|                                  | <b>Total Sin IVA</b>                  | <b>\$1,220,645,451</b> |
|                                  | <b>Total Con IVA</b>                  | <b>\$1,415,948,723</b> |

|                          |                                                                                                                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riesgos Asociados al PPI | Dentro de la matriz de riesgos del Proyecto, sólo se cuenta con un riesgo identificado como alto y fuera del alcance del del Municipio de |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Chihuahua, el cual es la disponibilidad de financiamiento público, es decir la suficiencia presupuestaria para llevar a cabo el PPI. Dado que, si no se cuenta con la parte de recurso de una de las fuentes de financiamiento, el programa corre el riesgo de no poder ejecutarse.

La medida de mitigación para este riesgo es presentar en tiempo y forma la evaluación socioeconómica que justifique la inversión pública solicitada, cumpliendo con todos los requisitos del proceso para asignación de recursos públicos.

Otros riesgos considerados como medios o bajos, siendo el impacto principal el retraso en la ejecución de la obra, afectando el costo.

---

Indicadores de Rentabilidad

Los indicadores de rentabilidad resultantes de la evaluación socioeconómica muestran la rentabilidad del presente PPI, ya que este cuenta con Valor Actual Neto de **\$1,691.1 mdp**, mientras que la Tasa Interna de Retorno es del **22.25%**, lo cual es superior a la Tasa Social de Descuento del 10%.

Con lo anterior se muestra que los beneficios esperados del Proyecto son superiores a los costos esperados del mismo generando así un beneficio neto a la sociedad.

---

Conclusiones y Recomendaciones

La construcción de un nuevo relleno sanitario en el Municipio de Chihuahua es relevante al considerar que la vida útil del actual relleno está llegando a su fin. Chihuahua es un Municipio que se caracteriza por su desarrollo económico y su crecimiento demográfico lo cual con lleva a un incremento en la generación de residuos, es por ello que contar con un relleno sanitario nuevo es una de las prioridades del municipio.

Los componentes que integran el presente proyecto están encaminados a priorizar la separación y valorización de los residuos sobre el confinamiento de los mismos, con ello se minimizan los impactos negativos al medio ambiente que este tipo de proyectos, por su naturaleza, con llevan.

El Proyecto cubre las necesidades de los Municipios de Chihuahua, Aldama y Aquiles Serdán en materia de disposición final, generando fuentes de empleo directos e indirectos, además de dar cumplimiento a la normativa vigente.

Adicionalmente, el Proyecto cuenta con indicadores de rentabilidad que demuestran que este Proyecto aporta beneficios netos a la población, demostrando su rentabilidad social.

Por lo anterior, se recomienda la ejecución del Proyecto precisando

---

que estas acciones tendrían un impacto inmediato en el medio ambiente, en la salud y en la imagen urbana de los municipios.

---

## 2. Situación del Proyecto y posibles soluciones.

### Diagnóstico de la situación actual

Conforme lo establece la fracción XXXIII del Artículo 5 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (**LGPGIR**), los Residuos Sólidos Urbanos (**RSU**) son “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”. Por otra parte, en el Artículo 10 de la **LGPGIR** se señala que, “**...los ayuntamientos son los responsables o de la gestión integral de los RSU, contando, para ello, con la colaboración y el apoyo del gobierno estatal y federal**”.

Dentro de las características principales para la gestión integral de los RSU, es conocer la generación per cápita, peso volumétrico y composición de los mismos, ya que son características que se utilizan para determinar y dimensionar las instalaciones y equipo requerido para su adecuada gestión. Las tecnologías o procedimientos para procesar, tratar, separar y valorizar los RSU, son muy diversas y dependen de las características de los RSU antes mencionadas (generación per cápita, peso volumétrico y composición), así como de las distancias y tamaños de los municipios o localidades, entre los componentes más utilizados están: equipo de recolección; estaciones de transferencia; sistemas de tratamiento o aprovechamiento; y sitios de disposición final.

### Generación Per Cápita a Nivel Nacional

De acuerdo al Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (**DBGIR**), publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (**SEMARNAT**) en el año 2020, La generación per cápita es un indicador que se utiliza para estimar la cantidad de residuos producidos en las localidades, para dimensionar las instalaciones o equipos necesarios para su recolección, aprovechamiento o disposición final.

La SEMARNAT calculó la generación per cápita a nivel nacional con base en 287 datos, todos ellos respaldados en estudios de generación y composición, realizados de acuerdo con la normatividad en la materia, adicionalmente con toda la información recabada estimó la cantidad de residuos generados por tamaño de municipio, región y nivel nacional; los cuales se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 5 Generación Per Cápita en México

| Promedio de Generación Per Cápita | kg/hab/día   |
|-----------------------------------|--------------|
| De origen domiciliario            | 0.653        |
| De origen no domiciliario         | 0.291        |
| <b>Total</b>                      | <b>0.944</b> |

**Fuente:** Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, 2020.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, para el cálculo de la generación per cápita, también se toma en cuenta los residuos de origen no domiciliario, los cuales también son conocidos como Residuos de Manejo Especial (**RME**), los cuales conforme lo establece la Fracción XXX del Artículo 5 de la LGPGIR, son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos, por lo cual en la mayoría de las ocasiones terminan en los mismos sitios de disposición final que los RSU.

Adicionalmente, se hizo una comparación de los resultados de la generación per cápita de RSU domiciliarios obtenidos con el muestreo realizado con otros datos estimados o de literatura.

Tabla 6 Comparación de los valores de GPC obtenidos contra datos de literatura

| GPC DE RSU<br>RESULTANTE DEL<br>MUESTREO<br>(kg/hab/día) | SEMARNAT<br>2014 <sup>1</sup> | INECC-<br>SEMARNAT<br>2012 <sup>2</sup> | SEMARNAT<br>2006 <sup>3</sup> |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| Índice                                                   | 0.990                         | 0.852                                   | 0.81-0.9                      |

**Fuente 1:** Media nacional especificada en “El Medio Ambiente en México 2013-2014”. Cap. 7 Residuos.

**Fuente 2:** Media nacional especificada en el “Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos”, 2012

**Fuente 3:** Media nacional especificada en “El Medio Ambiente en México en resumen”. Cap. 8 Residuos. 2006

Como se puede apreciar de la tabla anterior, los índices de generación per cápita, son menores que los presentados en la tabla 2.1, sin embargo, en la tabla 2.2 no se toman en cuenta los residuos no domiciliarios, que como se mencionó anteriormente, los residuos domiciliarios y no domiciliarios generalmente terminan en los mismos sitios de disposición final.

Es por lo anterior que para el cálculo del índice de generación per cápita se toma en cuenta residuos de origen domiciliario como residuos de origen no domiciliario.

Adicionalmente, otro dato que sirve de guía es la generación per cápita por región, la cual se presenta a continuación.

Tabla 7 Generación per Cápita de Residuos por Región

| Región    | Generación per Cápita (kg/hab/día) |                |       |
|-----------|------------------------------------|----------------|-------|
|           | Domiciliara                        | No Domiciliara | Total |
| Noroeste  | 0.727                              | 0.356          | 1.083 |
| Noreste   | 0.762                              | 1.047          | 1.047 |
| Occidente | 0.663                              | 0.281          | 0.944 |
| Centro    | 0.588                              | 0.178          | 0.766 |
| Sur       | 0.629                              | 0.374          | 1.003 |
| Sureste   | 0.743                              | 0.124          | 0.867 |

**Fuente:** Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, 2020.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el índice de generación per cápita más alto a nivel nacional se encuentra en la región noroeste del país, región donde se encuentra el Municipio de Chihuahua, el cual es la zona de influencia del presente estudio.

También, dentro del DBGIR se establecen los índices de generación per cápita por tamaño de municipio, lo cual es una guía importante para conocer la cantidad de residuos que se pueden generar en la zona de influencia del estudio.

Tabla 8 Generación Per Cápita por Tamaño de Municipio

| Población<br>(miles) | Generación Per Cápita (kg/hab/día) |                |       |
|----------------------|------------------------------------|----------------|-------|
|                      | Domiciliara                        | No Domiciliara | Total |
| < 10                 | 0.642                              | 0.221          | 0.863 |
| 10 - 20              | 0.653                              | 0.252          | 0.905 |
| 20 - 30              | 0.671                              | 0.252          | 0.923 |
| 30 - 40              | 0.642                              | 0.242          | 0.884 |
| 40 - 50              | 0.529                              | 0.208          | 0.737 |
| 50 - 100             | 0.635                              | 0.270          | 0.905 |
| > 100                | 0.695                              | 0.376          | 1.071 |

**Fuente:** Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos

Los datos presentados en la tabla anterior nos indican que la generación per cápita esperada para el Municipio de Chihuahua es de **1.071 kg/hab/día**, sin embargo, éste dato es solo una guía, ya que el índice de generación per cápita del presente estudio se obtuvo utilizando la metodología establecida por la normativa vigente y con niveles de confiabilidad que den certeza en la selección de las muestras.

## Caracterización de los RSU a Nivel Nacional

Es importante mencionar, que, de acuerdo con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020, el porcentaje de residuos susceptible de aprovechamiento es cercano al 32%, esto son estimaciones derivadas de estudios y análisis a nivel nacional.

Tabla 9 Composición Porcentual Promedio de los Residuos

| Categoría                              | Subproductos                  | Porcentaje     |
|----------------------------------------|-------------------------------|----------------|
| Susceptibles de Aprovechamiento 31.55% | Cartón                        | 4.55%          |
|                                        | Envase de Cartón Encerado     | 1.51%          |
|                                        | Fibras Sintéticas             | 0.34%          |
|                                        | Hule                          | 0.54%          |
|                                        | Lata                          | 0.98%          |
|                                        | Material Ferroso              | 0.88%          |
|                                        | Material No Ferroso           | 0.57%          |
|                                        | Papel                         | 5.07%          |
|                                        | PET                           | 2.63%          |
|                                        | Plástico rígido y de película | 7.66%          |
|                                        | Poliestireno expandido        | 1.55%          |
|                                        | Poliuretano                   | 0.55%          |
|                                        | Vidrio de color               | 1.60%          |
|                                        | Vidrio transparente           | 3.13%          |
| Orgánicos 46.42%                       | Cuero                         | 0.46%          |
|                                        | Fibra Dura Vegetal            | 0.73%          |
|                                        | Hueso                         | 0.52%          |
|                                        | Madera                        | 0.79%          |
|                                        | Residuos alimentarios         | 33.07%         |
|                                        | Residuos de jardinería        | 10.84%         |
| Otros 22.03%                           | Algodón                       | 0.15%          |
|                                        | Loza y cerámica               | 0.46%          |
|                                        | Material de construcción      | 0.70%          |
|                                        | Pañal desechable              | 6.75%          |
|                                        | Residuo fino                  | 2.25%          |
|                                        | Trapo                         | 2.82%          |
|                                        | Otros                         | 8.90%          |
| <b>Total</b>                           |                               | <b>100.00%</b> |

**Fuente:** Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020.

Conforme se establece en la tabla anterior la mayor composición de residuos a nivel nacional son los residuos de origen orgánico los cuales son los principales generadores de gases efecto invernadero que se generan con la descomposición de estos residuos, adicionalmente, estos residuos al combinarse con el agua pluvial se genera un líquido

altamente contaminante denominado lixiviado, el cual debe de ser tratado y procesado dentro de los rellenos sanitarios.

Es importante resaltar que la segunda categoría de residuos, en cantidad, son los residuos susceptibles de aprovechamiento, lo cual demuestra la necesidad y área de oportunidad de los operadores de los rellenos sanitarios de impulsar la construcción y equipamiento de plantas de separación y valorización de residuos.

## Residuos de Manejo Especial

Los Residuos de Manejo Especial (**RME**) son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (**LGPGIR**) en su última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación (**DOF**) el 22 de mayo de 2015 define a un gran generador como una “persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a 10 toneladas”, (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2015) lo que equivale a una generación 27 kg/día.

La LGPGIR establece en el artículo 7 fracción V que son facultades de la federación expedir las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que establezcan los criterios para determinar qué residuos estarán sujetos a planes de manejo, que incluyan los listados de éstos, y que especifiquen los procedimientos a seguir en el establecimiento de dichos planes. La SEMARNAT publicó la NOM-161-SEMARNAT-2011, la cual establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de estos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. La ley incluye a todos los tipos susceptibles de realizar planes de manejo, pero los de RSU y RME están fuera de esa lista.

El sistema de manejo utilizado para los RME es el mismo que el de los RSU, ya que normalmente es el mismo sistema de recolección de los municipios el que se encarga de recolectar y llevar los RME a estaciones de transferencia, plantas de separación o valorización hasta su destino final. Como se mencionó anteriormente, en la clasificación de RME establecida en la LGPGIR, se indica que son RME los generados por grandes generadores de RSU; sin embargo, esta clasificación expresada a partir de la regulación, no es aplicada por los sistemas públicos de recolección, de manera que igual recogen de un domicilio que de una pequeña industria, comercio o servicio.

Aunado a lo anterior, las entidades no han generado Programas Estatales para Prevención y Gestión Integral de Residuos (**PEPGIR**), para el periodo 2013–2019, únicamente se publicaron cuatro nuevos programas: i) Estado de México; ii) San Luis Potosí; iii) Tlaxcala; y iv) Zacatecas, y otras cuatro entidades actualizaron sus programas como son: i) Ciudad de México; ii) Jalisco; iii) Sinaloa; y iv) Tabasco.

## Recolección, Traslado, Equipamiento y Disposición Final a Nivel Nacional

El ciclo del servicio de prestado por los municipios en materia de residuos inicia con la recolección de los mismos, actividad de suma importancia debido a que previene que los generadores propicien su dispersión sin control en el ambiente. La recolección es el punto de partida de cualquier sistema de gestión integral de residuos.

Tabla 10 Generación y Recolección de RSU por Entidad Federativa

| Entidad Federativa         | Generación Calculada (ton/día) | Recolección (ton/día) | Porcentaje de Cobertura |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>Aguascalientes</b>      | 1,330                          | 942                   | 70.83%                  |
| <b>Baja California</b>     | 3,535                          | 2,957                 | 83.65%                  |
| <b>Baja California Sur</b> | 737                            | 1,081                 | 146.68%                 |
| <b>Campeche</b>            | 888                            | 792                   | 89.19%                  |
| <b>Coahuila</b>            | 3,032                          | 2,286                 | 75.40%                  |
| <b>Colima</b>              | 743                            | 787                   | 105.92%                 |
| <b>Chiapas</b>             | 4,964                          | 2,886                 | 58.14%                  |
| <b>Chihuahua</b>           | 3,638                          | 3,504                 | 96.32%                  |
| <b>Ciudad de México</b>    | 9,552                          | 10,049                | 105.20%                 |
| <b>Durango</b>             | 1,767                          | 1,327                 | 75.10%                  |
| <b>Guanajuato</b>          | 6,031                          | 4,155                 | 68.89%                  |
| <b>Guerrero</b>            | 3,421                          | 2,670                 | 78.05%                  |
| <b>Hidalgo</b>             | 2,694                          | 2,128                 | 78.99%                  |
| <b>Jalisco</b>             | 7,961                          | 7,451                 | 93.59%                  |
| <b>Estado de México</b>    | 16,739                         | 12,409                | 74.13%                  |
| <b>Michoacán</b>           | 4,459                          | 4,615                 | 103.50%                 |
| <b>Morelos</b>             | 1,878                          | 1,456                 | 77.53%                  |
| <b>Nayarit</b>             | 1,146                          | 1,843                 | 160.82%                 |
| <b>Nuevo León</b>          | 5,310                          | 4,564                 | 85.95%                  |
| <b>Oaxaca</b>              | 3,538                          | 1,985                 | 56.11%                  |
| <b>Puebla</b>              | 5,991                          | 4,218                 | 70.41%                  |
| <b>Querétaro</b>           | 2,085                          | 1,867                 | 89.54%                  |
| <b>Quintana Roo</b>        | 1,546                          | 2,538                 | 164.17%                 |
| <b>San Luís Potosí</b>     | 2,640                          | 1,870                 | 70.83%                  |
| <b>Sinaloa</b>             | 3,068                          | 3,139                 | 102.31%                 |
| <b>Sonora</b>              | 2,916                          | 2,468                 | 84.64%                  |
| <b>Tabasco</b>             | 2,471                          | 1,991                 | 80.57%                  |
| <b>Tamaulipas</b>          | 3,591                          | 3,054                 | 85.05%                  |
| <b>Tlaxcala</b>            | 1,123                          | 1,059                 | 94.30%                  |
| <b>Veracruz</b>            | 7,813                          | 6,102                 | 78.10%                  |
| <b>Yucatán</b>             | 2,016                          | 1,487                 | 73.76%                  |
| <b>Zacatecas</b>           | 1,505                          | 1,071                 | 71.16%                  |

**Fuente:** Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020.

Como se puede apreciar en la tabla anterior el promedio de recolección a nivel nacional es del 83%, lo que representa que cerca de 20,000 ton/día de residuos no sean recolectados, En algunas entidades federativas, como Baja California Sur, Nayarit y Quintana Roo, el índice de cobertura de recolección es superior al 100%, debido a que la cantidad de residuos recolectados que se reportan en el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales (**CNGMD**) 2017, posiblemente incluya los residuos generados en las actividades turísticas. Resalto los casos de Oaxaca y Chiapas donde la cobertura de recolección es inferior al 60%.

Otro dato, que nos puede dar un contexto relevante en materia de recolección, es el porcentaje de cobertura en recolección dependiendo del tamaño del municipio.

Tabla 11 Cobertura de Recolección por Tamaño de Municipio

| Tamaño del Municipio (miles) | Generación Estimada de Residuos (ton/día) | Recolección (ton/día) | Cobertura (%) |
|------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| < 10                         | 3,675                                     | 2,170                 | 59.05%        |
| 10–20                        | 6,215                                     | 4,010                 | 64.52%        |
| 20–30                        | 5,839                                     | 3,933                 | 67.36%        |
| 30–40                        | 4,811                                     | 4,579                 | 95.18%        |
| 40–50                        | 3,262                                     | 2,622                 | 80.38%        |
| 50–100                       | 13,278                                    | 10,920                | 82.24%        |
| > 100                        | 83,048                                    | 72,517                | 87.32%        |

*Fuente: Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020.*

Como se puede apreciar en la tabla anterior, los municipios de menos de 30 mil habitantes son los municipios que tienen el peor índice de cobertura en lo que respecta a la recolección, esto debido a que son municipios mayoritariamente rurales con poblaciones dispersas y con presupuestos escasos.

A nivel nacional existen 2,516 prestadores de servicio (públicos, privados y sociales) de recolección de éstos, 2,192 (el 87.1%) de ellos pertenecen al sector público, 247 (9.8%) son prestadores del servicio del sector privado, sin embargo, en municipios donde la población es mayor a 100 mil habitantes la participación del sector privado asciende al 40.6%, y en los municipios donde la población es menor a 100 mil habitantes el sector público cubre el 98.6% del servicio.

Otro indicador importante en materia de recolección, es la recolección selectiva, la cual se alinea con lo señalado en la LGPGIR en donde se subraya que los residuos podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con el objeto de facilitar su separación primaria y secundaria, lo cual facilita el reciclaje de la Fracción Inorgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (**FIRSU**), y el compostaje o la biodigestión de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (**FORSU**).

A nivel nacional, se recolectan por separado 5,281 ton/día, siendo 2,062 ton/día residuos orgánicos y 3,219 ton/día de residuos inorgánicos, de acuerdo con información publicada en CNGMD 2017, la recolección selectiva de residuos se realiza en 144 municipios de las 24 entidades federativas siguientes: Chiapas, Chihuahua, Ciudad de México, Colima, Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas.

En lo que respecta a la transferencia de los RSU, en el país se tiene registrado que existen un total de 127 Estaciones de Transferencia, las cuales están ubicadas en 112 municipios de 23 entidades federativas, de las cuales en 71 Estaciones de Transferencia únicamente se transfieren los residuos de los camiones recolectores a unidades de traslado de mayor capacidad, mientras que en 56 se realizan, además, otros procesos, como: i) la compactación de residuos (24 instalaciones); ii) la selección de residuos; iii) reciclables (37) y; iv) otras actividades complementarias no especificadas.

Es importante mencionar que el 50% de las estaciones de transferencia ubicadas, se encuentran en municipios con poblaciones mayor a 100 mil habitantes. Es importante mencionar que solo el 4.5% de los municipios del país cuenta con estaciones de transferencia.

De acuerdo con información del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020, 93 Estaciones de Transferencia son operadas por el sector público mientras que 29 de ellas son operadas por el sector privado.

En lo que respecta al aprovechamiento se incluye información de centros acopio y plantas de separación y valorización tanto de residuos orgánicos, como de residuos inorgánicos.

De acuerdo con información del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020, en el país existen un total de 173 centros de acopio de materiales reciclables en 19 entidades federativas del país, estos centros son instalaciones que pueden ser operadas por administraciones tanto estatales como municipales o incluso por el sector privado y cuyo fin es captar materiales seleccionados para dar un confinamiento adecuado o canalizarlos a procesos de reciclaje. A continuación, se presenta una tabla con la cantidad de materiales reciclables captados por estos centros.

Tabla 12 Cobertura de Recolección por Tamaño de Municipio

| Material Reciclable           | Cantidad Promedio Reciclada en los Centros (kg/día) | Porcentaje |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|
| <b>Papel y cartón</b>         | 10,874                                              | 28.3       |
| <b>PET</b>                    | 8,521                                               | 22.17      |
| <b>Aluminio</b>               | 974                                                 | 2.53       |
| <b>Fierro, lámina y acero</b> | 3,827                                               | 9.96       |
| <b>Cobre, bronce y plomo</b>  | 672                                                 | 1.75       |
| <b>Vidrio</b>                 | 7,094                                               | 18.46      |

| Material Reciclable       | Cantidad Promedio Reciclada en los Centros (kg/día) | Porcentaje |
|---------------------------|-----------------------------------------------------|------------|
| Eléctricos y electrónicos | 893                                                 | 2.32       |
| Plásticos                 | 3,940                                               | 10.25      |
| Cartón laminado           | 43                                                  | 0.11       |
| Otros reciclables         | 1,593                                               | 4.15       |

**Fuente:** Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la cantidad de residuos que pasan ingresan a los centros de acopio es muy bajo con relación a la cantidad de residuos generado por día a nivel nacional, lo cual demuestra en parte el bajo nivel de reciclaje que se tiene.

Dentro de la fase de aprovechamiento de los residuos, también se ubican las plantas de tratamiento o aprovechamiento de residuos, éstas son instalaciones automatizadas, mecánicas o manuales enfocadas a la valorización de los residuos, sin embargo, la cantidad de plantas instaladas en el país es muy bajo, ya que a nivel nacional solo se cuenta con 47 plantas ubicadas en 43 municipios de 15 entidades federativas.

De total de plantas existentes en el país 44 de ellas están enfocadas al tratamiento de la fracción inorgánica de los residuos, las cuales se clasifican de la siguiente manera: i) 26 plantas de selección de residuos inorgánicos; ii) 13 plantas de compactación de residuos inorgánicos; y iii) 5 plantas de trituración de residuos.

En lo que respecta a la fracción orgánica de los residuos, se tienen en total 29 plantas de las cuales 19 de ellas realizan un proceso de valorización de esta fracción a través del compostaje y 5 son plantas de biodigestión. Es importante mencionar que en algunas plantas se realizan procesos de valorización tanto de residuos orgánicos como de inorgánicos por eso es la cantidad de plantas de tratamiento (47) no coincide con la suma de los procesos.

A continuación, se presenta una tabla con la cantidad residuos que ingresan a las plantas de valorización identificadas.

Tabla 13 Cantidad de Residuos que Ingresan a las Plantas de Aprovechamiento a Nivel Nacional

| Entidad Federativa | Cantidad de Residuos Ingresados (ton/día) |
|--------------------|-------------------------------------------|
| Chiapas            | 15.0                                      |
| Chihuahua          | 224.5                                     |
| Ciudad de México   | 6,199.0                                   |
| Estado de México   | 60.7                                      |
| Guanajuato         | 25.8                                      |
| Jalisco            | 86.9                                      |
| Michoacán          | 81.9                                      |
| Nuevo León         | 1,392.1                                   |

| Entidad Federativa | Cantidad de Residuos Ingresados (ton/día) |
|--------------------|-------------------------------------------|
| Oaxaca             | 42.7                                      |
| Puebla             | 0.9                                       |
| Quintana Roo       | 457.6                                     |
| Sonora             | 0.8                                       |
| Tabasco            | 248.6                                     |
| Yucatán            | 102.0                                     |

*Fuente:* Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, solo 8,939 toneladas de residuos ingresan diariamente a las plantas de valorización, de las 120 mil toneladas de residuos que se generan a diariamente a nivel nacional, esto quiere decir que solo el 7.4% del total de residuos generados son valorizados, cuando el 77.9% (31.55% residuos susceptibles de aprovechamientos) son susceptibles de ingresar a plantas de valorización.

El último paso en este proceso es la Disposición Final de los residuos, que, en un servicio eficiente, a confinamiento solo se deberían de enviar los residuos que ya no es posible valorizar o reciclar. En México se tiene registrados 2,203 Sitios de Disposición Final (**SDF**), los cuales reciben un total de 86,352.7 ton/día de residuos.

De acuerdo con información del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020, de la totalidad de sitios de disposición final que existen en nuestro país, considerando la cantidad de residuos que reciben diariamente, se identifica que 162 son de Tipo A, porque reciben una cantidad de residuos igual o mayor a 100 t/día; 109 son de Tipo B, porque reciben entre 50 a 100 t/día; 457 son de Tipo C, porque reciben entre 10 y 50 t/día; y 1,475 son sitios Tipo D ya que reciben menos de 10 t/día.

Un dato importante a destacar es que, del total de Sitios de Disposición final registrados, 228 de ellos se ubican en municipios con poblaciones mayores a 100 mil habitantes, los cuales reciben alrededor de 51,884 t/día de las 86,352.7 ton/día de residuos que son enviadas a sitios de disposición final.

Tabla 14 Cantidad de Residuos que Ingresan a las Plantas de Aprovechamiento a Nivel Nacional

| Tamaño de Municipio (miles de habitantes) | Cantidad de Residuos (ton/día) | Total de SDF | Cantidad de SDF Según su Clasificación |                               |                              |                              |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------|----------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                           |                                |              | Tipo A, mayor 100 ton/día              | Tipo B, de 50 a 100 (ton/día) | Tipo C, de 10 a 50 (ton/día) | Tipo D, menor a 10 (ton/día) |
| < 10                                      | 2,416                          | 877          | 3                                      | 0                             | 22                           | 852                          |
| 10–20                                     | 4,789                          | 395          | 4                                      | 6                             | 113                          | 272                          |
| 20–30                                     | 3,609                          | 234          | 3                                      | 8                             | 88                           | 135                          |
| 30–40                                     | 4,186                          | 152          | 4                                      | 6                             | 77                           | 65                           |
| 40–50                                     | 3,159                          | 108          | 4                                      | 7                             | 57                           | 40                           |
| 50–100                                    | 16,310                         | 209          | 27                                     | 59                            | 72                           | 51                           |
| > 100                                     | 51,884                         | 228          | 115                                    | 25                            | 28                           | 60                           |

---

**Fuente:** Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT 2020.

En lo que respecta al equipamiento de los SDF, se tiene conocimiento que sólo 190 sitios (8.62%) cuentan con báscula para el pesaje de los residuos que ingresan diariamente a estos; 359 sitios (16.30%) cuentan con infraestructura para la captura de lixiviados (contaminantes líquidos generados principalmente cuando un caudal de agua pasa a través de los residuos, y son altamente contaminantes) y solo 91 SDF de los 359 cuenta con infraestructura adecuada para su tratamiento; y finalmente 213 sitios (9.67%) cuenta con infraestructura para la captura de biogás; 326 sitios (14.80%) cuentan con geomembrana para aislar a los residuos del suelo y; 955 sitios (43.35%) cuentan con cerca perimetral para delimitar el sitio del entorno.

## Localización geográfica del área de influencia

### Área de Influencia y Localización Geográfica

El presente estudio se desarrolló en la Ciudad de Chihuahua, capital del Estado de Chihuahua, El Estado de Chihuahua cuenta con tiene una extensión de 247,412.6 km<sup>2</sup> lo que representa 12.6% de la superficie del país<sup>1</sup>. Al norte colinda con los Estados Unidos de América; al este colinda con los Estados Unidos de América, Coahuila y Durango; al sur con Durango y Sinaloa; al oeste con los Estados Unidos de América, Sinaloa y Sonora.

La entidad se encuentra, en su mayor parte, bajo la influencia de climas con un alto índice de aridez, donde las lluvias son escasas y mal distribuidas. La sequía es muy recurrente, de gran magnitud, sus efectos se van acumulando lentamente y su presencia en ocasiones dura varios años, lo que impacta en las actividades agrícolas y pecuarias, las urbano-industriales y las forestales.

Los suelos predominantes en las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental son Regosoles y Leptosoles (suelos jóvenes o someros), seguidos por Feozem y Cambisoles y, en menor proporción, Luvisoles (suelos maduros o profundos). En la provincia del Altiplano y Sierras de Oriente predominan los Calcisoles, Arenosoles en las planicies y Regosoles y Leptosoles en las sierras, mientras que en las Cuencas Cerradas predominan Gypsisoles, Calcisoles, Vertisoles, Arenosoles y Fluvisoles.

---

<sup>1</sup> **Fuente:** INEGI

Figura 1 Porcentaje de Territorio y Ubicación del Estado de Chihuahua



**Fuente:** Estudio Diagnóstico

El estado está dividido en 67 municipios de acuerdo a la División Geoestadística del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (**SNIEG**) establecida por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (**INEGI**). De acuerdo con esta clasificación el Municipio de Chihuahua tiene como su cabecera municipal a la ciudad de Chihuahua.

La distribución demográfica muestra que el 21.7% de la población total del estado se ubica en el Municipio de Chihuahua, situándolo como el segundo municipio más poblado de la entidad; a su vez el 97.2% de la población municipal se asienta en la ciudad y el 2.8% en 303 localidades rurales, de las cuales el 90.4% tienen menos de 100 habitantes y se encuentran dispersas en el territorio.

En lo que respecta al Municipio de Chihuahua, se encuentra localizado en el centro del estado y colinda al norte con el Municipio de Ahumada; al este con los municipios de Aldama, Aquiles Serdán y Rosales; al sur con el Municipio de Satevó; y al oeste con los municipios de Buenaventura, Namiquipa, Riva Palacio y Santa Isabel. Este municipio cuenta con una extensión territorial de 9,219 km<sup>2</sup>, lo que representa el 3.7% de la superficie estatal. La altura promedio del municipio es de 1,440 metros sobre el nivel del mar.

El municipio de Chihuahua se ubica en el centro del Estado, como se muestra en la imagen siguiente, entre las coordenadas 28° 05' y 29° 48' de latitud norte y los meridianos 105° 41' y 106° 38' de longitud oeste.

Figura 2 Ubicación del Municipio de Chihuahua

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Mapas. 2022

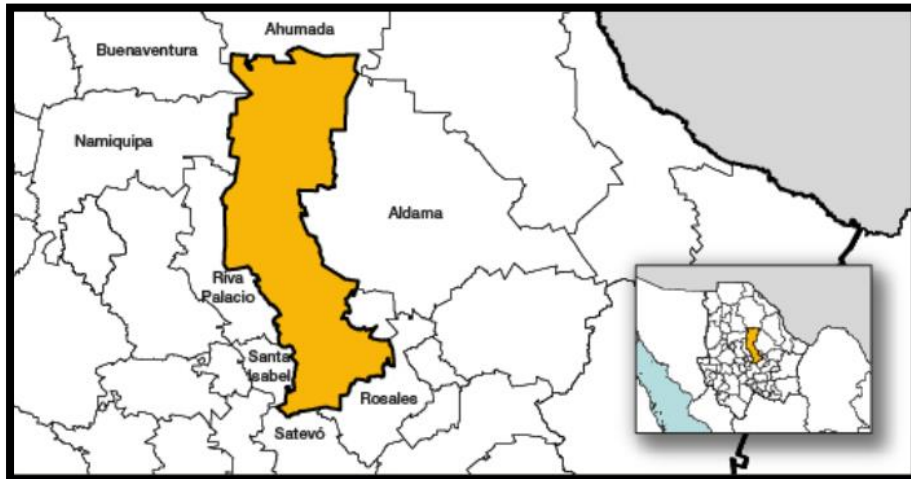
## Geomorfología

El territorio del municipio es mayoritariamente plano, con llanuras que se extienden a partir de la ciudad de Chihuahua, que se ubica en la parte sur del municipio, hacia el norte, hasta el límite con el municipio de Ahumada. No obstante, existen algunas serranías importantes. Las principales se ubican en el oeste, en el límite con el municipio de Cuauhtémoc. De entre ellas destaca la Sierra Azul, que observa la mayor elevación del municipio, con casi 2,800 msnm. En el sureste del municipio existen otras serranías entre las que destaca la Sierra Nombre de Dios.

La ciudad de Chihuahua, que es la cabecera municipal, está flanqueada por dos elevaciones emblemáticas: los cerros Grande y El coronel. En la imagen siguiente se puede observar las elevaciones que rodean al municipio de Chihuahua.

## Climatología

En el 40% de su territorio existe clima Muy seco, localizado en las sierras y Llanuras del Norte; 33% de clima Seco y semiseco en las partes bajas de la Sierra Madre Occidental y en el 24% Templado



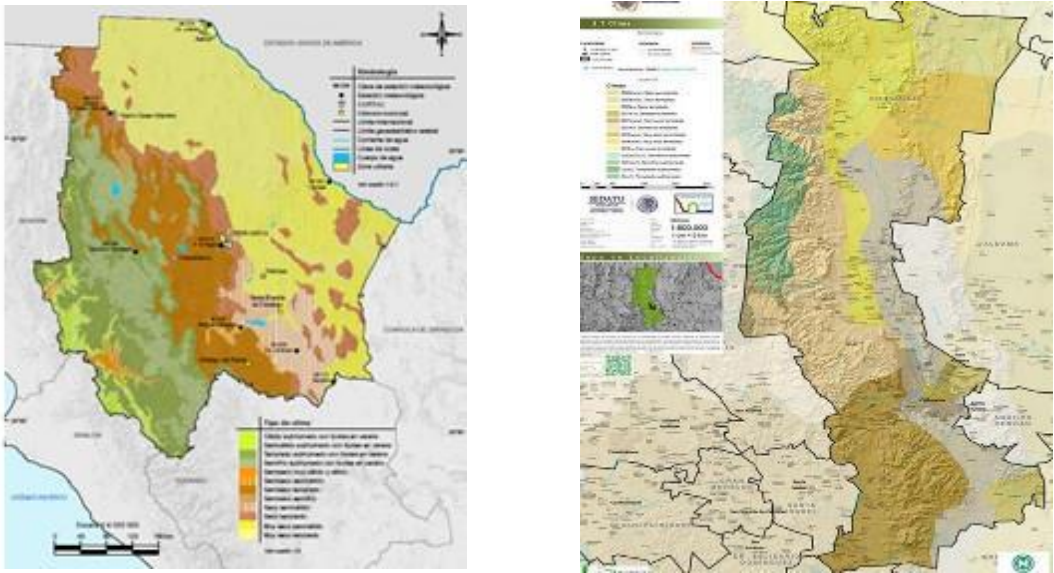
subhúmedo, localizado en las partes altas de la misma. Sólo una pequeña proporción del territorio (3%) presenta clima Cálido subhúmedo.

La temperatura media anual en el estado es de 17°C.; la temperatura más alta es mayor de 30°C, y se presenta en los meses de mayo a agosto y la más baja, alrededor de 0°C, en el mes de enero. Las lluvias son escasas y se presentan durante el verano, la precipitación total anual es alrededor de 500 mm anuales.

A pesar de que la escasez de agua es una limitante para la actividad agrícola, esta se practica de temporal y de riego, se cultiva: maíz, frijol, avena, alfalfa, algodón, sorgo, trigo, manzana entre otros. El clima seco y semiseco, favorece el crecimiento de pastizales en las planicies lo que ha favorecido el desarrollo de la ganadería.

En el municipio de Chihuahua se tiene un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (48.67%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (30.33%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (14.70%) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (6.30%). En la figura siguiente se muestra una carta de clima del estado de Chihuahua y una carta del municipio de Chihuahua.

Figura 3 Climas del Estado y Municipio de Chihuahua



**Fuente:** INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas

En la tabla siguiente se muestran la información más relevante referente al clima del municipio de Chihuahua, seco templado es lo que domina el territorio del municipio.

Tabla 15 Información principal del clima en el Municipio de Chihuahua

| RANGO DE TEMPERATURA | RANGO DE TEMPERATURA | RANGO DE TEMPERATURA                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 – 20°C            | 200 - 600 mm         | seco templado (35.0%), muy seco templado (16.4%), seco semicálido (4.0%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (3.3%), semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (2.9%) y semiseco semifrío (0.9%) |

**Fuente:** Compendio de información geográfica municipal 2010, INEGI

## **Fisiografía**

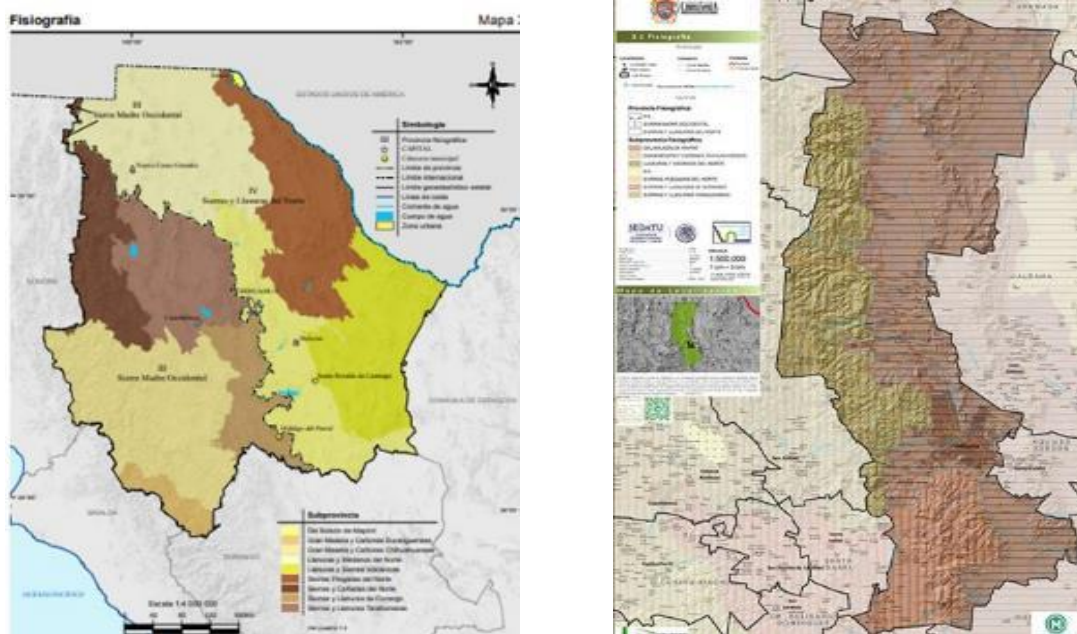
La fisiografía ofrece una visión general del gran mosaico de formas del relieve que caracterizan el territorio Nacional. Por medio de conjuntos paisajísticos relativamente homogéneos, identificados y definidos a partir de un análisis integral de información topográfica, geológica, hidrológica y edafológica. La importancia de la descripción fisiográfica reside en proporcionar un panorama completo de las características del medio natural de un área, lo que facilita la comprensión del relieve indicando implícitamente los aspectos climáticos, edafológicos y de vegetación.

El territorio municipal de Chihuahua se ubica en dos provincias fisiográficas: la parte oeste pertenece a la Sierra Madre Occidental y la parte Este a la denominada Sierras y Llanuras del Norte. En su territorio se intercalan amplias planicies con grandes serranías que corren en sentido norte sur.

El Municipio de Chihuahua pertenece a la vertiente occidental del Río Conchos, que se nutre de las principales corrientes del municipio. Existen 18 arroyos de importancia de los cuales aproximadamente 10 se encuentran canalizados en algunos tramos: Chamizal, Galera, Saucito, Mimbre, Nogales, Chuvíscar, Cantera, San Jorge, San Rafael, Plaza de Toros, La Manteca y el Picacho. De las regiones hidrológicas que comprende el estado, se desprenden dos vertientes: los ríos Chuvíscar y Sacramento que se unen en las inmediaciones del municipio Chihuahua.

Existen cuatro presas de importancia en el municipio de las cuales tres están situadas dentro de los límites de la ciudad: Chihuahua, Chuvíscar y El Rejón, mientras que La Presa de San Marcos se encuentra fuera del área metropolitana. La Presa Chihuahua abastece de agua a una pequeña parte de la ciudad y es utilizada como uso recreativo para la pesca. La Presa El Rejón, tiene una cortina de 33 metros de altura y 320 metros de largo, su capacidad útil es de 6.6 millones de metros cúbicos.

Figura 4 Fisiografía del Estado Chihuahua y del Municipio de Chihuahua

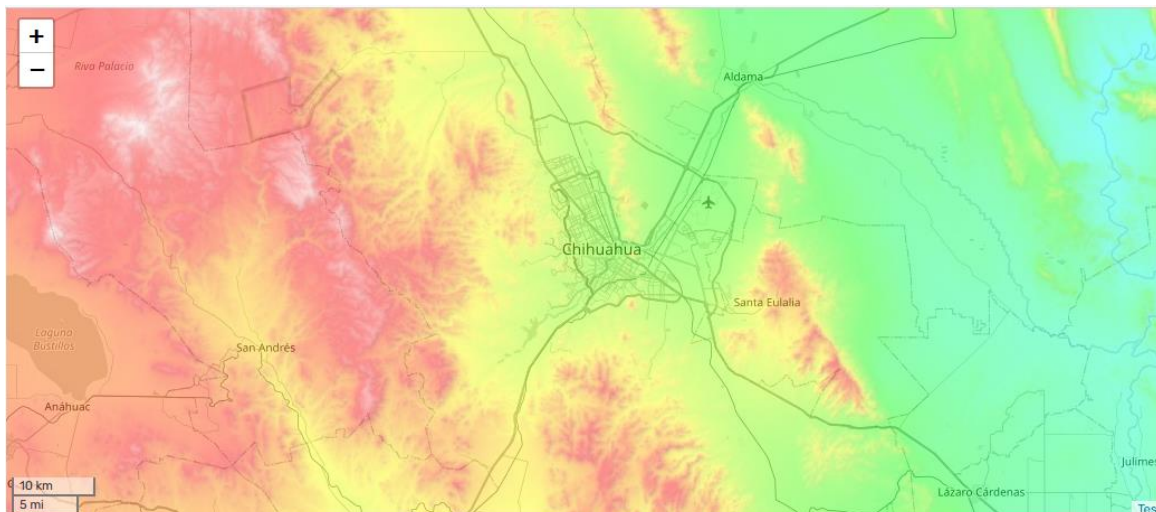


**Fuente:** Datos INEGI 2020

## Topografía

La ciudad de Chihuahua se encuentra enclavada en un valle rodeada de las pequeñas serranías que recorren el municipio en dirección norte-sur, al oeste las serranías de Huerachi, Majalca, La Campana, El Nido, El Pajarito y la Sierra azul, al este Nombre de Dios, El Cobre, La Parrita y Ojo Laguna, por el suroeste las serranías de La Silla, El Charco, Mápula, y El Cerro grande. Al noreste de la ciudad se ubica el valle Tabalaopa-Aldama, bordeado por las sierras de Nombre de Dios al occidente, Peña Blanca y la Gloria al oriente. Su elevación varía en sentido este-oeste, en el aeropuerto Roberto Fierro es de 1348 m s. n. m., en el centro de la ciudad es de 1420 m s. n. m. y al oeste y norte alcanza los 1550 m s. n. m. sus principales elevaciones son el Cerro Grande con 1900 m s. n. m. y el Cerro Coronel 1650 m s. n. m. en el sur de la ciudad. En la se pueden observar algunas de las elevaciones principales en los alrededores del municipio de Chihuahua.

Figura 5 Mapa Topográfico de Chihuahua



**Fuente:** Datos  
INEGI 2020

## Aspectos Ambientales

Los grandes retos de hoy en día, como la reducción de la pobreza, el cambio climático, la creación y el mantenimiento de una sociedad que sea inclusiva y pacífica, se podrán enfrentar todos a través de las respuestas que brinden las ciudades, como también lo serán los diarios desafíos de recoger la basura (residuos), contar con sistemas contra incendios u otros desastres mayores en casa, y facilitar el suministro de agua, electricidad, educación, cuidado de la salud y servicios que hagan la vida más productiva y disfrutable.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos produce múltiples impactos negativos sobre la salud de las personas y el medio ambiente. Si bien la falta de estudios epidemiológicos no ha permitido corroborarlo directamente, se reconoce que existen agentes en la basura (residuos) que producen afecciones a la salud de las personas. Los residuos no recolectados o no dispuestos finalmente de una forma sanitariamente adecuada pueden ocasionar un aumento en el número de casos de enfermedades como dengue, dificultades respiratorias e infecciones dérmicas, y cuyos efectos son amplificados, cuando la población carece de servicios de limpia (aseo urbano) básicos.

Cuando los residuos se disponen en depósitos a cielo abierto sin control, los residuos se convierten en fuentes de proliferación de vectores de enfermedades, como insectos o roedores. Asimismo, como estos lugares no cuentan con una adecuada protección perimetral no puede impedir el ingreso de otros animales como perros, gatos, garzas, u otros.

Otro factor de contaminación al medio ambiente proviene de la quema de residuos plásticos, cables y otros residuos de tipo industrial, pilas, baterías entre otros, lo cual

produce principalmente dioxinas y furanos, sustancias tóxicas y carcinogénicas. Tales sustancias afectan directamente a la población que se sitúa a los alrededores de donde se llevan a cabo este tipo de quemas.

La degradación de la materia orgánica presente en los residuos produce una mezcla de gases conocida como biogás, y entre cuyos componentes se encuentra el metano y el dióxido de carbono, los cuales son reconocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI) y que contribuyen al proceso del cambio climático. Si bien en términos de todos los contribuyentes de los GEI, la mala disposición de residuos contribuye de forma negativa en el medio ambiente.

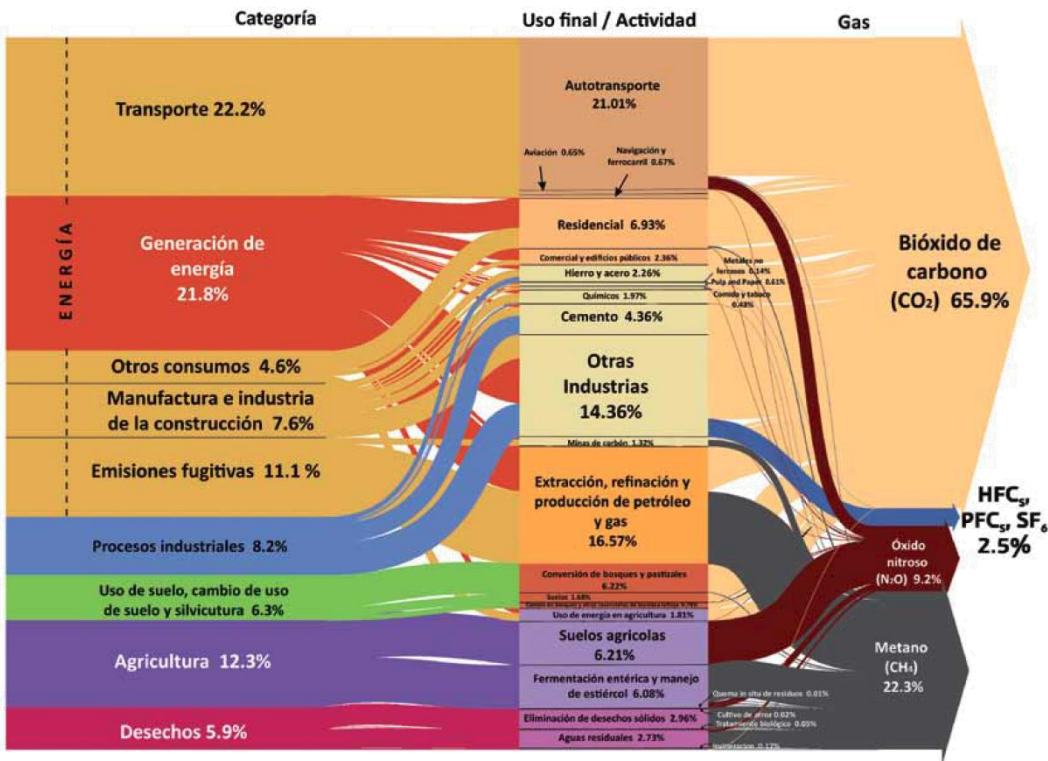
En general, los impactos de la mala gestión de los residuos sobre la salud pueden observarse en los trabajadores del sector, la población urbana sin servicio de recolección y la adyacente a los sitios de disposición no controlados, pepenadores y sus familiares cercanos.

En cuanto a los impactos directos sobre el medio ambiente pueden ser de tipo atmosférico, sobre los suelos, sobre las aguas superficiales y subterráneas, así como a la flora y fauna cercana a los sitios de disposición final, no controlada.

Chihuahua cuenta con un relleno sanitario (SDF a cielo abierto), lo que afecta no sólo el aire, sino también los mantos freáticos, por el escurrimiento de los lixiviados, de acuerdo con el reporte proporcionado por la UACH producto de no contar con sistemas adecuados para su contención y captación. El relleno sanitario tiene una superficie aproximada de 50 ha, cuenta con una celda clausurada desde 2009 y actualmente operando la celda número dos, éste relleno se encuentra ubicado al sureste del centro de la ciudad de Chihuahua. Cabe mencionar que dadas las pobres condiciones de operación y mantenimiento la celda número dos está llegando al término de su tiempo de vida útil, que de acuerdo con información proporcionada por el municipio esta llegará a término para el 2024.

Los desarrollos habitacionales están creciendo muy rápidamente en los alrededores del relleno sanitario, recientemente se llevó a cabo la inauguración de un nuevo fraccionamiento. Si no se toman las medidas necesarias, en un futuro no muy lejano, el crecimiento urbano puede incrustarlo y provocar problemas aún mayores, tanto a nivel ambiental como de salud para la población que se encuentre en los alrededores.

Figura 6 Diagrama de emisiones de GEI para México, 2010. (SEMARNAT/INECC, 2012)



Fuente: México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 2012.

Adicionalmente, en la zona industrial de Chihuahua, se localizan algunos ecosistemas de valor ambiental (balnearios, bosques, otros) y que están siendo aprovechados económicamente, para el desarrollo turístico de los alrededores de la ciudad. Todo lo anterior, hace inevitable el incremento en la generación de RSU.

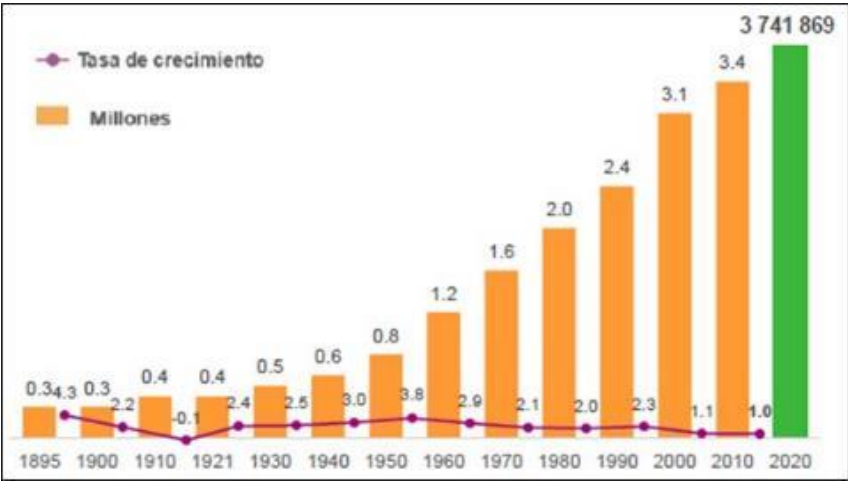
Como parte de las medidas que se deben tomar para el futuro desarrollo de la ciudad se encuentra el implementar una cultura de separación de los residuos sólidos domiciliarios, así como incorporar procesos de aprovechamiento y reciclaje adecuados, en los que participen ampliamente los ciudadanos, evitando con ello la contaminación del aire, del suelo y del agua, y consolidar una estrategia de desarrollo económico sustentable para la ciudad y el municipio de Chihuahua.

## Aspectos sociodemográficos

### Análisis Demográfico

La población total en el Estado de Chihuahua es de 3,741,869 habitantes. De ellos, 1,888,822 habitantes son mujeres (50.5%) y 1,853,822 habitantes son hombres (49.5%). El Estado de Chihuahua ocupa el lugar 12 a nivel nacional por número de habitantes, mientras que en el 2010 ocupaba el lugar número 11. En la gráfica siguiente, se puede observar el número total de habitantes del estado de Chihuahua, así como el crecimiento promedio anual.

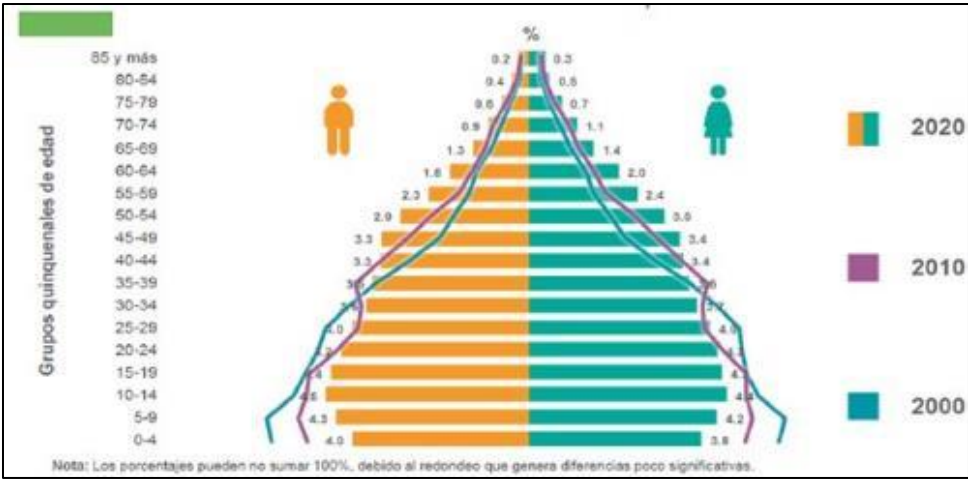
Figura 7 Población total y tasa de crecimiento promedio anual, 1895-2020



Fuente: Censo de población y vivienda 2020, INEGI

La edad mediana en el 2000 era de 29 años; para 2010, de 26 años, y en 2020 es de 23 años, esta información se puede observar en la gráfica siguiente.

Figura 8 Estructura de la Población 2000, 2010 y 2020



Fuente: Censo de población y vivienda 2020, INEGI

A nivel municipal, el Municipio de Juárez es el más poblado con 1,512,450 habitantes, mientras que Huejotitán es el menos poblado, con solo 824 habitantes. En la tabla siguiente se muestra el número de habitantes por municipio, donde se puede observar que en el

municipio de Chihuahua se tienen 937,674 habitantes de acuerdo al Censo de población y vivienda 2020, INEGI.

Tabla 16 Número de habitantes por municipio en el estado de Chihuahua.

| Clave del municipio | Municipio                       | Habitantes 2020 |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|
| 001                 | Ahumada                         | 14,635          |
| 002                 | Aldama                          | 26,047          |
| 003                 | Allende                         | 8,487           |
| 004                 | Aquiles Serdán                  | 24,344          |
| 005                 | Ascensión                       | 26,093          |
| 006                 | Bachíniva                       | 5,807           |
| 007                 | Balleza                         | 16,440          |
| 008                 | Batopilas de Manuel Gómez Morín | 11,270          |
| 009                 | Bocoyna                         | 23,351          |
| 010                 | Buenaventura                    | 25,146          |
| 011                 | Camargo                         | 49,499          |
| 012                 | Carichí                         | 8,113           |
| 013                 | Casas Grandes                   | 11,815          |
| 014                 | Coronado                        | 2,034           |
| 015                 | Coyame del Sotol                | 1,230           |
| 016                 | La Cruz                         | 3,704           |
| 017                 | Cuauhtémoc                      | 180,638         |
| 018                 | Cusihuiriachi                   | 5,099           |
| 019                 | Chihuahua                       | 937,674         |
| 020                 | Chínipas                        | 6,222           |

**Fuente:** Censo de población y vivienda 2020, INEGI.

Dado que el Relleno Sanitario actual da servicio a los municipios de Chihuahua, Aldama y Aquiles Serdán, se hace un análisis de la población y su crecimiento de los tres municipios mencionados.

A nivel municipal, la población total de Chihuahua en 2020 fue 937,674 habitantes, siendo 51.2% mujeres y 48.8% hombres. Los rangos de edad que concentraron mayor población fueron 20 a 24 años (80,287 habitantes), 25 a 29 años (78,636 habitantes) y 15 a 19 años (76,594 habitantes). Entre ellos concentraron el 25.1% de la población total.

La población total de Aquiles Serdán en 2020 fue 24,344 habitantes, siendo 44.6% mujeres y 55.4% hombres. Los rangos de edad que concentraron mayor población fueron 25 a 29 años (2,682 habitantes), 30 a 34 años (2,619 habitantes) y 35 a 39 años (2,346 habitantes). Entre ellos concentraron el 31.4% de la población total.

La población total de Aldama en 2020 fue 26,047 habitantes, siendo 50.7% mujeres y 49.3% hombres. Los rangos de edad que concentraron mayor población fueron 10 a 14 años (2,377 habitantes), 5 a 9 años (2,316 habitantes) y 15 a 19 años (2,184 habitantes). Entre ellos concentraron el 26.4% de la población total.

A continuación, y utilizando las “Proyecciones poblacionales al año 2070” propuestas y publicadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), se hace una proyección del

número de habitantes para los municipios de Aldama, Aquiles Serdán y Chihuahua hasta el año 2063.

Tabla 17 Proyección de Crecimiento Poblacional

| Año |      | Factor de crecimiento poblacional total CONAPO para el estado de Chihuahua |           | Población |        |                |           |
|-----|------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|--------|----------------|-----------|
| No. | Año  | Periodo                                                                    | Acumulado | Chihuahua | Aldama | Aquiles Serdán | Total     |
| -4  | 2020 | 0.93%                                                                      | 1.0000    | 937,674   | 26,047 | 24,344         | 988,065   |
| -3  | 2021 | 0.94%                                                                      | 1.0094    | 946,505   | 26,292 | 24,573         | 997,370   |
| -2  | 2022 | 1.12%                                                                      | 1.0207    | 957,080   | 26,586 | 24,848         | 1,008,514 |
| -1  | 2023 | 1.29%                                                                      | 1.0339    | 969,428   | 26,929 | 25,168         | 1,021,526 |
| 0   | 2024 | 1.26%                                                                      | 1.0469    | 981,622   | 27,268 | 25,485         | 1,034,375 |
| 1   | 2025 | 1.20%                                                                      | 1.0595    | 993,432   | 27,596 | 25,792         | 1,046,820 |
| 2   | 2026 | 1.13%                                                                      | 1.0714    | 1,004,668 | 27,908 | 26,083         | 1,058,659 |
| 3   | 2027 | 1.05%                                                                      | 1.0827    | 1,015,261 | 28,202 | 26,358         | 1,069,821 |
| 4   | 2028 | 0.98%                                                                      | 1.0933    | 1,025,204 | 28,478 | 26,616         | 1,080,298 |
| 5   | 2029 | 0.91%                                                                      | 1.1033    | 1,034,549 | 28,738 | 26,859         | 1,090,146 |
| 6   | 2030 | 0.85%                                                                      | 1.1127    | 1,043,390 | 28,984 | 27,089         | 1,099,462 |
| 7   | 2031 | 0.81%                                                                      | 1.1217    | 1,051,823 | 29,218 | 27,308         | 1,108,349 |
| 8   | 2032 | 0.77%                                                                      | 1.1304    | 1,059,939 | 29,443 | 27,518         | 1,116,900 |
| 9   | 2033 | 0.74%                                                                      | 1.1388    | 1,067,815 | 29,662 | 27,723         | 1,125,200 |
| 10  | 2034 | 0.72%                                                                      | 1.1470    | 1,075,528 | 29,876 | 27,923         | 1,133,328 |
| 11  | 2035 | 0.70%                                                                      | 1.1551    | 1,083,104 | 30,087 | 28,120         | 1,141,310 |
| 12  | 2036 | 0.69%                                                                      | 1.1630    | 1,090,555 | 30,294 | 28,313         | 1,149,162 |
| 13  | 2037 | 0.67%                                                                      | 1.1708    | 1,097,849 | 30,496 | 28,502         | 1,156,848 |
| 14  | 2038 | 0.64%                                                                      | 1.1783    | 1,104,903 | 30,692 | 28,686         | 1,164,281 |
| 15  | 2039 | 0.61%                                                                      | 1.1855    | 1,111,611 | 30,879 | 28,860         | 1,171,350 |
| 16  | 2040 | 0.56%                                                                      | 1.1922    | 1,117,866 | 31,052 | 29,022         | 1,177,940 |
| 17  | 2041 | 0.51%                                                                      | 1.1983    | 1,123,574 | 31,211 | 29,170         | 1,183,956 |
| 18  | 2042 | 0.46%                                                                      | 1.2037    | 1,128,707 | 31,354 | 29,304         | 1,189,364 |
| 19  | 2043 | 0.40%                                                                      | 1.2086    | 1,133,262 | 31,480 | 29,422         | 1,194,164 |
| 20  | 2044 | 0.36%                                                                      | 1.2129    | 1,137,290 | 31,592 | 29,526         | 1,198,408 |
| 21  | 2045 | 0.31%                                                                      | 1.2167    | 1,140,838 | 31,691 | 29,619         | 1,202,148 |
| 22  | 2046 | 0.28%                                                                      | 1.2200    | 1,143,976 | 31,778 | 29,700         | 1,205,454 |
| 23  | 2047 | 0.24%                                                                      | 1.2230    | 1,146,772 | 31,855 | 29,773         | 1,208,400 |
| 24  | 2048 | 0.22%                                                                      | 1.2257    | 1,149,288 | 31,925 | 29,838         | 1,211,051 |
| 25  | 2049 | 0.20%                                                                      | 1.2281    | 1,151,568 | 31,989 | 29,897         | 1,213,453 |
| 26  | 2050 | 0.18%                                                                      | 1.2303    | 1,153,638 | 32,046 | 29,951         | 1,215,635 |
| 27  | 2051 | 0.16%                                                                      | 1.2323    | 1,155,496 | 32,098 | 29,999         | 1,217,593 |
| 28  | 2052 | 0.14%                                                                      | 1.2340    | 1,157,124 | 32,143 | 30,041         | 1,219,308 |
| 29  | 2053 | 0.12%                                                                      | 1.2355    | 1,158,469 | 32,180 | 30,076         | 1,220,726 |
| 30  | 2054 | 0.09%                                                                      | 1.2365    | 1,159,463 | 32,208 | 30,102         | 1,221,773 |
| 31  | 2055 | 0.05%                                                                      | 1.2372    | 1,160,045 | 32,224 | 30,117         | 1,222,386 |
| 32  | 2056 | 0.01%                                                                      | 1.2373    | 1,160,178 | 32,228 | 30,121         | 1,222,527 |
| 33  | 2057 | -0.03%                                                                     | 1.2369    | 1,159,844 | 32,219 | 30,112         | 1,222,175 |
| 34  | 2058 | -0.07%                                                                     | 1.2361    | 1,159,054 | 32,197 | 30,091         | 1,221,342 |
| 35  | 2059 | -0.10%                                                                     | 1.2348    | 1,157,840 | 32,163 | 30,060         | 1,220,063 |
| 36  | 2060 | -0.14%                                                                     | 1.2331    | 1,156,249 | 32,119 | 30,019         | 1,218,386 |
| 37  | 2061 | -0.17%                                                                     | 1.2310    | 1,154,322 | 32,065 | 29,969         | 1,216,356 |
| 38  | 2062 | -0.19%                                                                     | 1.2287    | 1,152,108 | 32,004 | 29,911         | 1,214,023 |
| 39  | 2063 | -0.21%                                                                     | 1.2261    | 1,149,660 | 31,936 | 29,848         | 1,211,443 |

| Año | Factor de crecimiento poblacional total CONAPO para el estado de Chihuahua | Población |
|-----|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
|-----|----------------------------------------------------------------------------|-----------|

**Fuente:** Elaboración Propia con información las proyecciones poblacionales al año 2070 propuestas y publicadas por CONAPO

Lo anterior es calculado ya que la generación de residuos está vinculada directamente al número de habitantes en la zona de impacto del presente estudio; el crecimiento en cuanto al volumen de residuos generados está relacionado directamente a la tasa de crecimiento poblacional, por lo cual, con base en información del “Censo de Población y Vivienda 2020”, y a las tasas de crecimiento poblacional establecidas la CONAPO se proyectó la generación anual de residuos durante el horizonte de evaluación del estudio, lo cual se presentará en apartados posteriores.

horizonte de evaluación del estudio, lo cual se presentará en apartados posteriores.

### Crecimiento Urbano

El Crecimiento del área urbana ha sido acelerado a partir de la década de los noventa. Durante el período de 1980 a 1995 el ritmo de expansión fue del 48%. De la misma forma de 1980 al 2005 la superficie urbana creció más del doble, es decir paso de 8489 has. a 19,024 has. En la siguiente se tiene datos de superficie poblada, tasa de crecimiento y densidad de población para la ciudad de chihuahua.

Tabla 18 Proyección de Crecimiento Poblacional (Densidad)

| Año  | Población Total | Tasa de Crecimiento Poblacional | Superficie Urbana (has) | Superficie Urbana (km2) | Densidad de Población (Hab/Ha) |
|------|-----------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1960 | 150,430         |                                 |                         |                         |                                |
| 1970 | 257,027         | 5.5                             | 3,815.78                | 38.16                   | 67.36                          |
| 1980 | 385,603         | 3.9                             | 8,489.16                | 84.89                   | 45.42                          |
| 1990 | 516,153         | 3                               | 15,097.91               | 150.98                  | 34.19                          |
| 1995 | 613,722         | 3                               | 16,515.04               | 165.15                  | 37.16                          |
| 2000 | 657,876         | 1.6                             | 18,055.04               | 180.55                  | 36.44                          |
| 2005 | 748,518         | 2.62                            | 19,024.07               | 190.24                  | 39.35                          |
| 2010 | 809,232         | 1.64                            | 24,367.22               | 243.67                  | 33.21                          |

**Fuente:** Elaboración Propia con información de Proyecciones de la Población de los municipios de México, 2015-2030, CONAPO

### Economía

En el cuarto trimestre de 2022, la tasa de participación laboral en Chihuahua fue 62.6%, lo que implicó un aumento de 0.45 puntos porcentuales respecto al trimestre anterior (62.2%). La tasa de desocupación fue de 1.99% (36.9k personas), lo que implicó una disminución de 0.48 puntos porcentuales respecto al trimestre anterior (2.47%).

La población ocupada en Chihuahua en el cuarto trimestre de 2022 fue 1.82M personas, siendo superior en 2.42% al trimestre anterior (1.78M ocupados). El salario promedio mensual en el cuarto trimestre de 2022 fue de \$6.86k MX siendo inferior en \$34.9 MX respecto al trimestre anterior (\$6.9k MX).

En cuarto trimestre de 2022, Chihuahua tuvo 1,818,252 ocupados. Las ocupaciones con más trabajadores durante el cuarto trimestre de 2022 fueron Ensambladores y Montadores de Partes Eléctricas y Electrónicas (89.3k), Empleados de Ventas, Despachadores y Dependientes en Comercios (75k) y Comerciantes en Establecimientos (69.1k).

Según datos del Censo Económico 2019, los sectores económicos que concentraron más unidades económicas en Chihuahua fueron Comercio al por Menor (11,633 unidades), Otros Servicios Excepto Actividades Gubernamentales (5,919 unidades) y Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas (3,787 unidades).

Según el tipo de institución de educación superior, la mayor cantidad de egresados en el ciclo escolar 2020-2021 en Chihuahua egresaron de: Universidades Públicas Estatales (37.9%, 171,130 egresados), Universidades Tecnológicas (19.2%, 86,875 egresados) y Tecnológico Nacional de México (15.5%, 70,205 egresados). Por nivel educativo, destacan los egresados de licenciatura (80.3%, 362,706 egresados) y técnico superior universitario (11.1%, 50,001 egresados).

Los campos de estudio con mayor número de egresados en el periodo escolar 2020-2021 en Chihuahua fueron ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica, química y profesiones afines (20.2%, 91,054 egresados), administración y gestión (12%, 54,330 egresados) y negocios y contabilidad (11.1%, 50,096 egresados).

Las carreras que destacaron en Chihuahua por tener mayor número de egresados fueron licenciatura en derecho (20,908 egresados), ingeniería industrial (16,632 egresados) y licenciatura en enfermería (14,168 egresados).

## Servicios

Los servicios abarcan una serie de instalaciones relacionadas con energía eléctrica, agua potable, saneamiento, drenaje, entre otros. Aspectos todos ellos relevantes en la satisfacción de las necesidades de la población.

El objetivo funcional de la infraestructura urbana trata sobre obtener los máximos beneficios que permitan dar movilidad y calidad de vida, generando un territorio más competitivo. Es por esto que se relaciona con la dotación de servicios para el desarrollo de las actividades en la ciudad y las condiciones de vida de la población.

La cobertura general de la infraestructura de la ciudad se considera aceptable, no obstante, existen puntos críticos como el caso del Centro Histórico donde las redes debido a su antigüedad son obsoletas, para incrementar el volumen de servicio lo que va en contra de

las políticas de desarrollo y redensificación promovidas por el Plan de Desarrollo Urbano 2040. Es necesario establecer un programa de estrategias y acciones de modernización de la red hidrosanitaria en este importante sector.

## Mercado

En la tabla siguiente se muestran las plazas comerciales, mercados, supermercados y parques industriales plazas comerciales, Dado que existen más de 100 grandes comercios, solo identificaremos los más representativos por su valor unitario en pesos por m<sup>2</sup>

Tabla 19 Mercados, tiendas de autoservicio y plazas en el Municipio de Chihuahua

| Plazas Comerciales, Mercados y Parques Industriales. Valores Unitarios por m <sup>2</sup> |                             |               |    |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------|----|----------------|
| ID                                                                                        | Nombre                      |               |    | Gasto promedio |
| 104-011                                                                                   | ALSÚPER LEONES              |               |    | \$3,205.00     |
| 141-001                                                                                   | ALSÚPER UNIVERSIDAD         |               |    | \$3,258.00     |
| 348-080                                                                                   | CITADELA                    |               |    | \$3,371.00     |
| 251-010                                                                                   | CONDOMINIO COMERCIAL ALTURA |               |    | \$4,157.00     |
| 251-010                                                                                   | EDIFICIO ROMA               |               |    | \$4,157.00     |
| 251-50,55                                                                                 | HOSPITAL CIMA               | TORRES        | DE | \$3,371.00     |
| 002-(024-028)                                                                             | CONSULTORIOS                |               |    | \$3,317.00     |
| 251-(041-044,092-095)                                                                     | MERCADO CHIHUAHUA           |               |    | \$3,317.00     |
| 002-020                                                                                   | PARQUE DE NEGOCIOS          |               |    | \$3,595.00     |
| 251-010                                                                                   | PLAZA CENTRO                |               |    | \$3,371.00     |
| 325-047                                                                                   | PLAZA COMERCIAL ALTURA      |               |    | \$3,429.00     |
| 117-031                                                                                   | PLAZA CUMBRES               |               |    | \$3,595.00     |
| 104-046                                                                                   | PLAZA EL PEDREGAL           |               |    | \$3,595.00     |
| 251-090                                                                                   | PLAZA GALERÍAS              |               |    | \$3,146.00     |
| 447-(081-086)                                                                             | PLAZA HOLLYWOOD             |               |    | \$3,371.00     |
| 251-(101-102)                                                                             | PLAZA LAS CANTERAS          |               |    | \$3,371.00     |
| 313-000                                                                                   | PLAZA LAS HACIENDAS         |               |    | \$3,595.00     |
| 026-022                                                                                   | PLAZA LAS PALMAS            |               |    | \$3,371.00     |
| 251-044                                                                                   | PLAZA LIBERTAD              |               |    | \$4,280.00     |
| 251-043                                                                                   | PLAZA LORETO                |               |    | \$3,595.00     |
| 00-323                                                                                    | PLAZA TOLSA                 |               |    | \$3,595.00     |
| 050-010                                                                                   | PLAZA TRES VÍAS             |               |    | \$3,852.00     |
| 313-(016,023,024,051,052)                                                                 | PLAZA VICTORIA              |               |    | \$3,932.00     |
| 445-030                                                                                   | PLAZA VISTAS DEL SOL        |               |    | \$3,371.00     |
| 445-030                                                                                   | PUNTO ALTO I                |               |    | \$3,932.00     |
| 251-050 A 055                                                                             | PUNTO ALTO II               |               |    | \$4,494.00     |
| 251-091                                                                                   | TORRES DE CONSULTORIOS      | HOSPITAL CIMA |    | \$3,371.00     |
|                                                                                           | WALMART CHIHUAHUA           |               |    | \$3,932.00     |

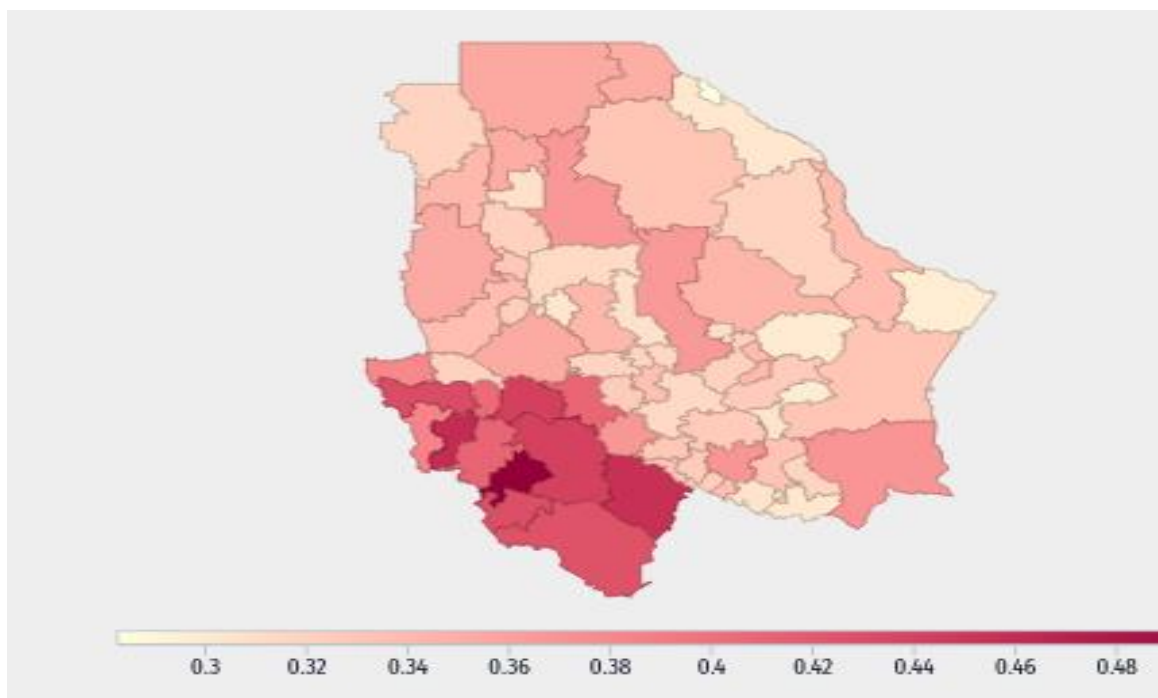
Fuente: Estudio Diagnóstico

## Marginalidad

El coeficiente o índice de Gini, es una medida estadística diseñada para representar la distribución de los ingresos de los habitantes, en concreto, la inequidad entre estos. Índices más cercanos a 0, representan más equidad entre sus habitantes, mientras que valores cercanos a 1, expresan máxima inequidad entre su población

En 2020, en Chihuahua, los municipios con menor desigualdad social, de acuerdo al índice de GINI, fueron: Práxedes G. Guerrero (0.283), Manuel Benavides (0.297), La Cruz (0.298), Julimes (0.300) y Guadalupe (0.302). Por otro lado, los municipios con menor igualdad social por esta métrica, fueron: Batopilas de Manuel Gómez Morín (0.505), Guazapares (0.460), Balleza (0.456), Bocoyna (0.442) y Guachochi (0.440). En la imagen siguiente, se puede observar los coeficientes de Gini en los diferentes municipios del estado de Chihuahua.

Figura 9 Desigualdad social según GINI en Chihuahua (2020)

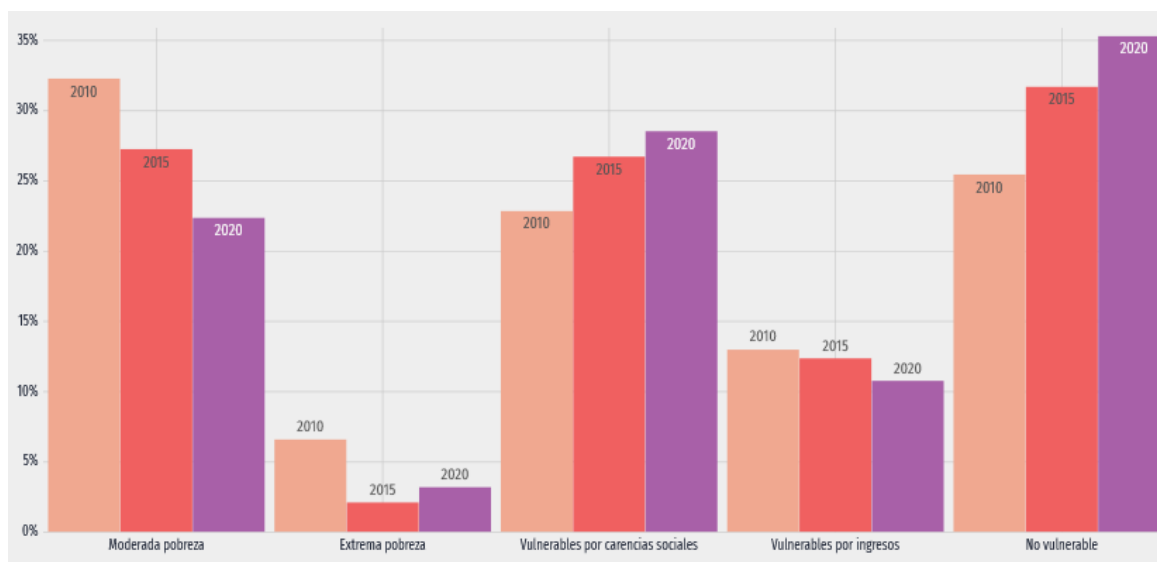


**Fuente:** Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), y Censo Población y Vivienda

En 2020, 22.3% de la población se encontraba en situación de pobreza moderada y 3.17% en situación de pobreza extrema. La población vulnerable por carencias sociales alcanzó un 28.5%, mientras que la población vulnerable por ingresos fue de 10.7%.

Las principales carencias sociales de Chihuahua en 2020 fueron carencia por acceso a la seguridad social, carencia por acceso a los servicios de salud y rezago educativo. En la gráfica siguiente, se comparan diversos indicadores de pobreza y carencias sociales.

Figura 10 Distribución de Personas Según Condición de Pobreza



**Fuente:** Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL).

### 3. Descripción del Proyecto

#### Descripción del Proyecto

La gestión de los desechos sólidos es un problema universal que atañe a todo habitante del planeta. El Banco Mundial prevé que para 2050 los desechos crezcan un 70%, impulsado por la rápida urbanización y el crecimiento de las poblaciones mundiales. La disposición final apropiada de los residuos en México debe cumplir con los estándares de seguridad y aseguramiento para evitar la propagación de contaminantes al subsuelo, agua y aire. Aunado a lo anterior, México y los países del mundo deberán optar por maneras más innovadoras de disposición final, considerando la transformación y reúso de los residuos en distintas formas. El proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos del municipio de Chihuahua es un proyecto vanguardista que busca cumplir con las normas oficiales mexicanas pero también reducir al mínimo los residuos que se confinarán al relleno sanitario. El proyecto contiene una tecnología para convertir los residuos en combustible sólido para su venta a la industria, valorizando los residuos al máximo.

Los componentes del proyecto son los siguientes:

1. Ampliación del Relleno Sanitario Actual
2. Estación de Transferencia "ET" de RSU para el NRSM. (Recolección).

3. Construcción, mantenimiento y operación del nuevo sitio de disposición final de los RSU en el "NRSM". (Disposición final).
4. Construcción, mantenimiento y operación de una planta de procesamiento de RSU y RME para conversión a CDR. (Disposición final).
5. Clausura, monitoreo y mantenimiento del relleno sanitario actual "RSA". (Disposición final)

## **Ampliación del Relleno Sanitario Actual**

Derivado de que la vida útil del relleno sanitario actual llega a su fin en diciembre de 2023 y que el tiempo administrativo y de construcción del presente proyecto puede durar hasta dos años, se ha determinado incluir el componente de la Ampliación del Relleno Sanitario Actual.

Las autoridades municipales han determinado que se pueden utilizar los espacios entre celdas para así ampliar la vida útil del Relleno Sanitario Actual y, paralelamente, dar oportunidad de que los trámites administrativos puedan concluir y que el resto de los componentes se construyan.

Se planea utilizar 2.5 hectáreas (ha) y depositar a nivel del terreno, hasta una altura máxima de 20 metros, los Residuos Sólidos Urbanos y Residuos de Manejo Especial que se produzcan menos el 3.91% estimado que los pepenadores extraen del total depositado en el relleno actual.

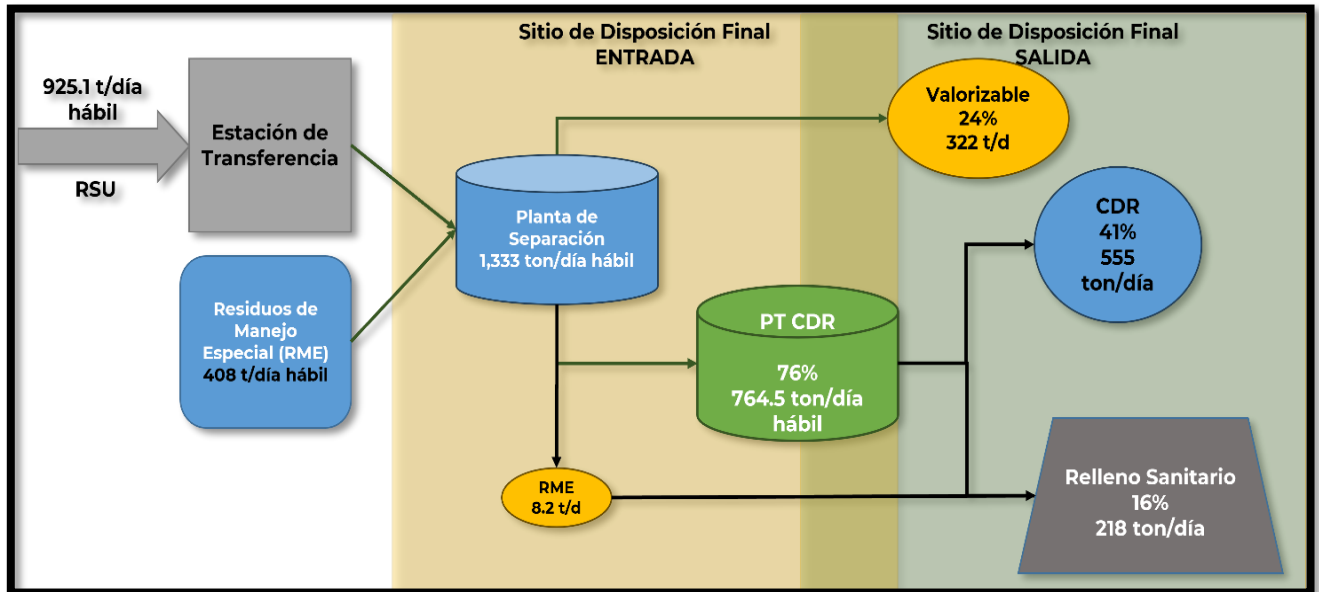
Sin embargo, se requiere una inversión de capital para instalar el sistema de lixiviados, caminos alternos y geomembrana para asegurar el buen funcionamiento de la ampliación del relleno, que cumpla con la normatividad aplicable.

Por otro lado, en el presente Proyecto se considera que la totalidad de los residuos sólidos urbanos (RSU) entrarán a la Estación de Transferencia y de esta se transportarán al sitio de disposición NRSM, donde, junto con los Residuos de Manejo Especial (RME) se verterán en las líneas de separación de la Planta de Separación ubicada en el sitio de disposición final.

Los residuos de naturaleza reciclable de la fracción inorgánica que puedan ser recuperables para su valorización se extraerán del proceso en este paso, se calcula que un 28% de la totalidad de los residuos se podrán valorizar. Los residuos rechazados para la valorización, así como los materiales específicos que forman parte de los RME que no son aptos para el proceso biológico al que se someterán los residuos, serán dispuestos en el relleno sanitario.

Por otro lado, el tratamiento biológico previo a la planta de CDR, permitirá la separación del agua contenida en los RSU y RME que entren al reactor aeróbico

Figura 11 Proceso del Proyecto



**Fuente:** Elaboración propia

\*Los valores en este diagrama pueden variar de las estimaciones actuales actualizadas

## Estación de transferencia

El proyecto incluye la construcción, equipamiento y operación de una estación de transferencia de **RSU** automatizada con capacidad de hasta 1,200 t/d que cumpla con la normatividad aplicable y vigente que permita reducir los costos de traslado de los RSU de los camiones recolectores al sitio de disposición final en el NRSM y minimizar el potencial de la tira clandestina de basura, así como, los riesgos ambientales y sanitarios asociados.

Su objetivo es ahorrar costos, minimizar el impacto ambiental y reducir el tráfico vehicular en el traslado de los RSU desde el término de su recolección hasta el sitio de disposición final en el NRSM.

El terreno cuenta con 20,000 m<sup>2</sup> y se encuentra ubicado en Ave Juan Pablo II a un costado de la PTARs Sur. Actualmente, es propiedad de la Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS), una unidad administrativa estatal, sin embargo, para el desarrollo de este proyecto, el municipio plantea adquirirlo por un monto que asciende a \$9,000,000 (Nueve millones de pesos 00/100 M.N.). Se encuentra ubicado a una distancia de 6.5 km a la ciudad y 29 km del NRSM.

Los camiones recolectores de RSU llegarán a la Estación de Transferencia (ET) la cual constará de **dos líneas de descarga y compactación para recibir a dos camiones simultáneamente**.

El sitio contará con la siguiente infraestructura.

1. Área de recepción

2. Caseta de control
3. Área de oficinas
4. Área de básculas
5. Vialidades internas
6. Área de estacionamiento para vehículos ligeros
7. Área de estacionamiento para tractores y remolques
8. Cimentación para montaje de prensa (40 Tn de peso)
9. Rampa de acceso a plataforma de descarga (Pendiente no mayor de 5%)
10. Patio de Maniobras
11. Área de taller y servicios
12. Equipamiento del sistema de transferencia
13. Zona de amortiguamiento y jardines.

El equipamiento principal de la Estación de Transferencia incluye:

1. 5 vehículos menores (Carros compactos y camionetas)
2. 1 subestación completa de 300 KVA tipo aérea
3. Equipos y mobiliario de oficina
4. 2 básculas de registro y control de 40 t
5. 6 contenedores remolque abierto de 30 m<sup>3</sup>
6. Sistema contra incendio completo con bomba y tanque
7. 2 sistemas de compactación MP-5070TS de 2x30 kW completa de 70 toneladas  
Incluye cada uno:
  - a. Dispositivo automático de cambio de contenedores
  - b. Amarres hidráulicos
  - c. Dispositivo abertura/cierre de la puerta de guillotina en contenedores Husmann.
  - d. Tolva preparada para carga directa con camión
  - e. Transferidor mecánico de carros TM-4/7 (4 carros para 7 posiciones)
  - f. 7 Contenedores con cierre de guillotina PM 30 V-E (capacidad aprox. de 30 m<sup>3</sup>)
8. Planta de emergencia Diesel, capacidad 150KW Standby (Inc. equipo de generación, tablero de transf. y Caseta - Automática) - CUMMINS

El proceso consiste en:

1. Vigilancia, registro y control.
2. Pesaje de entrada del camión recolector.
3. Acceso a rampa.
4. Posicionamiento en tolva
5. Descarga de RSU en tolva
6. RSU:
  - a. Compactación de residuos
  - b. Introducción a contenedor
  - c. Aseguramiento de compuertas de contenedor

d. Transporte a planta de tratamiento o SDF.

7. Pesaje de salida de Camión recolector

## Sitio de disposición final y Relleno Sanitario

De igual forma, el proyecto considera la construcción, operación y mantenimiento de un sitio de disposición final para Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) que brindará servicio a los municipios de Aldama, Aquiles Serdán y Chihuahua. La realización de este componente permitirá continuar con el servicio de disposición final de los RSU una vez que el RS actual haya llegado al término de su vida útil lo que se espera ocurra aproximadamente a finales de 2023, según la “Evaluación de la situación actual y plan de clausura del relleno sanitario actual del municipio de Chihuahua” elaborado por la UACH en 2022.

El sitio de disposición final recibirá la totalidad de los RSU de los contenedores de la estación de Transferencia, lo transportado por los camiones de Residuos de Manejo Especial (RME).

El terreno se encuentra ubicado al sur del municipio de Chihuahua, por la salida a Delicias, 1.5 km antes del Templo Católico San Judas Tadeo, en las coordenadas geográficas 28°29'59.84" N, 105°53'29.96" O, con un área aproximada de 72.2 ha.

Figura 12 Terreno del Nuevo Relleno Sanitario Municipal



**Fuente:** Estudio Diagnóstico

El relleno sanitario se construirá de acuerdo la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial; de acuerdo a dicha

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

normatividad al proyecto le corresponde una clasificación tipo A ya que recibirá más de 100 ton/día.

Se construirán cinco celdas, que juntas suman un área de 36ha. Cada celda cuenta con un sistema de impermeabilización (geomembrana y material natural impermeable) que garantiza que no se contamine el subsuelo. Aunque el área destinada para celdas de disposición final asciende a 36 Ha, el terreno total del sitio de disposición final es de 73 Ha, el cual incluye otros componentes como las lagunas de lixiviados, el patio para pepena, el área recepción, patio de maquinaria, oficinas, planta de CDR, áreas verdes, caminos, estacionamiento, básculas, entre otras.

Figura 13 Diagrama del NRSM



**Fuente:** Dirección de Servicios Públicos Municipales de Chihuahua

El equipamiento principal del NRSM incluye los siguiente:

1. Dos básculas de 40 t para entrada y salida de unidades con señalización digital.
2. Planta de emergencia de 150 KVA equipada con transfer.
3. Equipo de oficinas y amueblado.
4. Sistema contra incendios
5. Laguna de lixiviados y sistema de extracción

6. Subestación principal de 150 KVA y CCM
7. Sistema de vigilancia
8. Sistema informático y de control SCADA
9. Sistema de monitoreo de lixiviados
10. Sistema de monitoreo de biogás
11. Sistema de monitoreo de acuífero
12. Cuarto de capacitación
13. Cuarto de enfermería y primeros auxilios
14. Equipos para taller mecánico
15. Otros equipos periféricos

Figura 14 Tabla de Volúmenes de celdas y capacidad

| Celda        | SB (NTN) m <sup>2</sup> | SF (Fondo) m <sup>2</sup> | SC (Cubierta) m <sup>2</sup> | Volumen Bajo Nivel (m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 1A           | 54,120                  | 36,717                    | 25,765                       | 902,759                              |
| 1            | 54,120                  | 36,717                    | 25,765                       | 902,759                              |
| 1B           | 104,689                 | 77,440                    | 59,368                       | 1,814,450                            |
| 1C           | 76,556                  | 54,962                    | 40,748                       | 1,309,233                            |
| 2            | 67,467                  | 47,399                    | 34,636                       | 1,142,771                            |
| Emergencia   | 19,665                  | 17,441                    | 10,095                       | 370,838                              |
| <b>Total</b> | <b>376,616</b>          |                           | <b>196,378</b>               | <b>6,442,810</b>                     |

**Fuente:** Estudio Diagnóstico

**Nota:** La Profundidad de la Excavación es de 20 m.

## Planta de tratamiento de RSU, CDR

La planta de tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos y Residuos de Manejo especial tiene como objetivo el tratamiento, conversión y valorización de los RSU en Combustibles Derivados de Residuos o CDR para así minimizar el flujo de disposición final en el NRSM de RSU + RME para reducir costos, incrementar la vida útil y reducir el impacto ambiental del NRSM; separar, reciclar y valorizar los residuos como el plástico, papel, cartón, PET, metales ferrosos y no ferrosos, plástico en película, etc.; procesar y valorizar la fracción orgánica de los RSU + RME para transformarlos y comercializarlos como CDR a la industria establecida en la Entidad Federativa.

Se consideró esta alternativa de separación y tratamiento biológico aeróbico de residuos sólidos sobre otras alternativas como son 1) Relleno seco, que consiste en compactar los RSU en pacas flejadas con extracción de lixiviados para su reducción y disposición final, con o sin separación previa de reciclables, 2) Biodigestores anaerobios, y otras alternativas, por alcanzar con la alternativa seleccionada y a costosa similares las mejores eficiencias en recuperación de reciclables y reducción de huella de carbono y cantidad de RS a disposición final. El sistema seleccionado clasifica los CDRs en verdes, que son aquellos que provienen del FORSU tratado biológicamente y el CDRs plástico que proviene de la fracción del FIRSU. Estos CDRs tienen precios y mercados diferentes por lo que es necesario separarlos como se tiene en el proceso.

Esta planta de tratamiento, mediante procesos mecánicos y biológicos aeróbicos, produce Combustible Derivado de Residuos (CDR) de dos calidades: verde y plástico, con una capacidad nominal de 1200 ton/día de RSU. La planta de selección procesará el Residuo Sólido Urbano – RSU y RME de características similares, para llevar a cabo la separación de los subproductos que puedan ser valorizados y reciclados tanto para producción de bienes como para su aprovechamiento energético por la industria. Los materiales por separar en el proceso serán: papel y cartón; plásticos; metales férricos y no férricos, y otros que tengan bajo poder calórico. El material restante con poder calorífico se convertirá en CDR de calidad para su aprovechamiento energético dentro de la Industria.

## **Equipamiento**

El equipamiento con el que cuenta la Planta de Valorización es el siguiente:

1. Planta de Separación
2. Equipo mecánico de Tratamiento Biológico
3. Equipo de secado de Tratamiento Biológico
4. Subestación completa de 1500 KVA terrestre
5. Grúa puente de 15 ton
6. Camión para levantar contenedores roll on roll of
7. Contenedores de rechazo 34 m<sup>3</sup>
8. Báscula magnetec
9. Góndolas de 4 m<sup>3</sup>
10. Báscula electrónica digital 2 ton
11. Hidro lavadora Karsher
12. Equipo hidráulico montacargas
13. Montacargas Iron FD 30 ton.
14. Cargador frontal tipo 950 Cat.
15. Bobcat Iron WS60
16. Plataforma de tijera Genie GS 1932 8m
17. Camión rechazo MV16 International
18. PTARi

El tratamiento reduce significativamente la cantidad de RSU que se disponen en el NRSM minimizando el impacto ambiental y aumentando la vida útil del mismo.

Existen varios procesos probados a nivel mundial para el tratamiento de RSU y su conversión a CDR. Algunos de los procesos principales son los que se enlistan en la tabla siguiente:

Tabla 20 Ventajas y desventajas de algunos los principales procesos de tratamiento de RSU para su conversión a CDR.

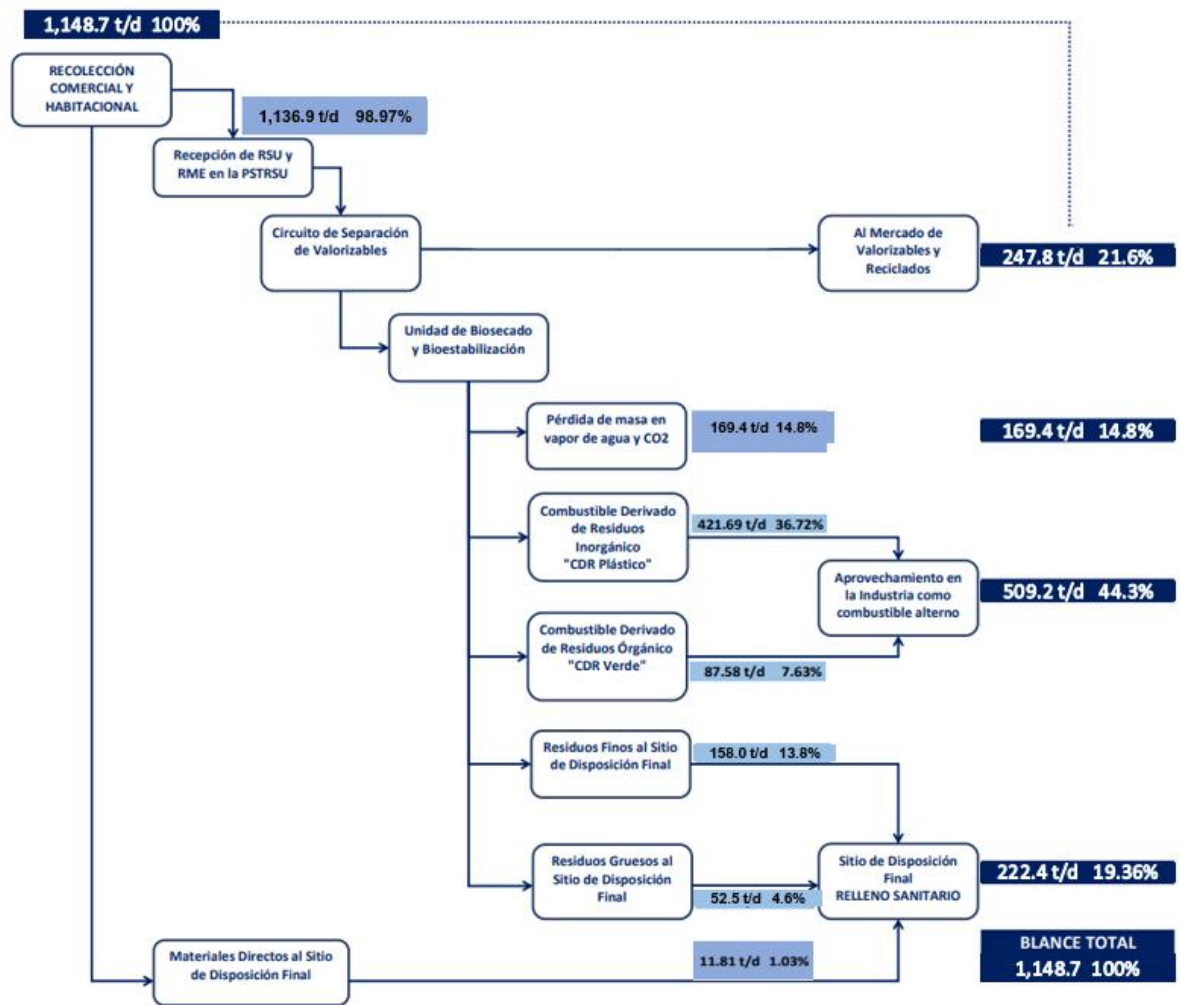
| Proceso principal                                                                                                                                                            | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                      | Desventajas                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Físico:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Separación</li> <li>▪ Trituración</li> <li>▪ Rompedoras,</li> <li>▪ Clasificadoras,</li> <li>▪ Compactado</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sencilla y económica</li> <li>▪ Conserva P.C.I.</li> </ul>                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Materia orgánica si digerir, requiere manejo apropiado para control de olores derivados de la descomposición bioquímica</li> </ul>              |
| <b>Bioquímica aeróbica (Biodigestor Aeróbico)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Biopilas mezcladas</li> <li>▪ Biopilas aireadas</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estabilización permanente del CDR</li> <li>▪ Menor potencial de generación de olores</li> <li>▪ Velocidad de reacción</li> <li>▪ Control de proceso</li> <li>▪ Buena calidad del residuo tratado</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pérdida de P.C.I por efecto de la reacción bioquímica.</li> </ul>                                                                               |
| <b>Fisicoquímicos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Neutralización</li> <li>▪ Neutralización encapsulamiento</li> </ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conserva P.C.I.</li> <li>▪ Estabilización temporal del CDR</li> <li>▪ Menor potencial de generación de olores</li> <li>▪ Velocidad de reacción</li> <li>▪ Control de proceso</li> <li>▪ Buena calidad del residuo tratado</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La estabilización química es temporal. Si se dispone adecuadamente dentro de los tiempos correctos esto no representa mayor problema</li> </ul> |
| <b>Térmicos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pirólisis</li> <li>▪ Incineración controlada</li> </ul>                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estabilización permanente del CDR</li> <li>▪ Menor potencial de generación de olores</li> <li>▪ Velocidad de reacción</li> <li>▪ Control de proceso</li> </ul>                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pérdida de P.C.I por efecto de la descomposición química de la materia orgánica.</li> </ul>                                                     |

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| Proceso principal                                                              | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                             | Desventajas                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Buena calidad del residuo tratado</li> </ul>                                                                                                                                                                |                                                                                                                                      |
| Químicos <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Oxidación química</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estabilización permanente del CDR</li> <li>▪ Menor potencial de generación de olores</li> <li>▪ Velocidad de reacción</li> <li>▪ Control de proceso</li> <li>▪ Buena calidad del residuo tratado</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pérdida de P.C.I por efecto de la descomposición química de la materia orgánica.</li> </ul> |

**Fuente:** Elaboración Propia

Figura 15 Gráfico de Flujo de Masa



### Clausura, monitoreo y mantenimiento del relleno sanitario actual

El actual relleno sanitario de la ciudad de Chihuahua entró en funcionamiento en octubre de 1993. Se encuentra ubicado en la latitud 28°41'12.53" N y longitud 105° 59'32.28" O a 200 m de la calle "Valle del Rosario" y a 2,140 m del kilómetro 6 de la carretera "Chihuahua-Aldama", en terrenos que antes formaron parte del ejido de Tabalaopa, sobre la vialidad Fuerza Aérea. Tiene una longitud de 750 m de largo por 800 m de ancho. El lugar está acondicionado para aceptar todo tipo de residuos sólidos, siempre y cuando éstos no estén catalogados como peligrosos. Cuenta con dos celdas para el vertido de los residuos. Este componente permitirá cumplir con lo establecido en la normatividad aplicable y vigente NOM-083-SEMARNAT-2003.

La Celda 1 fue clausurada en septiembre de 2010.

Según, la evaluación realizada por la UACH en 2022, la Celda 2 entró en operación en septiembre de 2010. La celda mide 250 m de ancho por 700 m de largo. Sin embargo, sólo la mitad del terreno está habilitado para recibir residuos. La celda tiene una profundidad de 17 m cuya base fue revestida con una capa de arcilla de 30 cm, una capa de geomembrana y geotextil, así como una capa de 40 cm de arena para evitar la infiltración de los lixiviados generados al subsuelo. Cuenta con un sistema de recopilación de lixiviados mediante tuberías ubicadas en el fondo de la celda. Actualmente se recibe de 900 a 1,200 toneladas por día efectivo de trabajo. El Relleno Sanitario Actual se encuentra en una zona con uso de suelo de equipamiento general según el Plan de Desarrollo Urbano 2040 (PDU 2040), sin embargo, en el perímetro norte y oeste se tiene una zona de preservación ecológica (PE), y al sur y este una zona de amortiguamiento (ZA). Además, a 500 m del perímetro del RSA se tienen zonas residenciales de 26-45 viv/a, y áreas destinadas a usos mixtos suburbanos (MS2, MS, H35, H60).

Asimismo, la UACH en dicho estudio, estima que la celda 2 llegue al término de su vida útil en diciembre del 2023

### **Características**

La clausura cumplirá con lo establecido en la norma aplicable NOM-083-SEMARNAT-2003 a fin de evitar el impacto ambiental por emisiones a la atmósfera y contaminación de agua superficial y del subsuelo.

Para este efecto se deberá de considerar:

1. El sellado de la celda
2. Las obras de drenaje pluvial consistentes en la reparación y/o ampliación de canales existentes y construcción de nuevos canales
3. Sistema captación y manejo de lixiviados que incluye
  - a. La obra de captación,
  - b. La conducción hacia la laguna de lixiviados
  - c. Almacenamiento en laguna de lixiviados
  - d. Sistema de recirculación de lixiviados
  - e. Línea de retorno al relleno sanitario
4. Sistema de captación y quemado de biogás
  - a. En este caso pozos de captación.
  - b. Quemadores cerrados de biogás incluyendo filtros de H<sub>2</sub>S, aspiración, impulsión y antorcha.
5. El sistema de monitoreo
  - a. De acuíferos
  - b. De lixiviados dentro del relleno sanitario
  - c. De biogás
6. Sistema de tratamiento de lixiviados

7. Sembrado de capa vegetal
8. Instalación de dispositivos para el control de asentamientos
9. Cercado del predio
10. Sistema de vigilancia remota

## Equipamiento

El equipamiento deberá de ser definido y especificado en el proyecto ejecutivo de clausura y debe de incluir cuando menos lo siguiente:

1. Sistema captación y manejo de lixiviados
  - a. Sistema de recirculación de lixiviados por medio de un sistema de bombeo de aproximadamente 10HP alejado de cualquier punto de posible contacto con el biogás.
2. Sistema de captación y quemado de biogás
  - a. Pozos de captación que incluyen quemadores cerrados de biogás incluyendo filtros de H<sub>2</sub>S, aspiración, impulsión y antorcha. Deben de ser automáticos de encendido remoto y manual con señal remota para verificar estado en cabina.
3. El sistema de monitoreo
  - a. De acuíferos.
    - Incluye pozo y sensor de nivel, pH, Temperatura, Conductividad y puerto de muestreo para determinaciones de laboratorio
    - Bomba para extracción de muestras.
  - b. De lixiviados dentro del relleno sanitario.
    - Incluye pozo y sensor de nivel, pH, Temperatura, Conductividad y puerto de muestreo para determinaciones de laboratorio
    - Bomba para extracción de muestras.
  - c. De biogás
    - Incluye detectores móviles y de instalación fija.
4. Sistema de tratamiento de lixiviados (Opcional a considerar después de los estudios de caracterización)
5. Instalación de dispositivos para el control de asentamientos.
6. Sistema de vigilancia remota con cámaras e internet

## 4. Promotores del Proyecto

Los promotores del proyecto son:

**LIC MARCO ANTONIO BONILLA MENDOZA**, Presidente Municipal de Chihuahua, el cual **de conformidad con el fundamento legal tiene las siguientes facultades**

**MTRA. AÍDA AMANDA CÓRDOVA CHÁVEZ**, Tesorera del Municipio de Chihuahua, la cual **de conformidad con el fundamento legal tiene las siguientes facultades**

**LIC. JOSÉ LUIS DE LAMADRID TÉLLEZ**, Director de Servicios Públicos Municipales, el cual **de conformidad con el fundamento legal tiene las siguientes facultades**

## 5. Análisis Económico del Proyecto

### Identificación, cuantificación y valoración de costos del Proyecto

Los costos considerados para efecto de la evaluación se determinaron con base en los datos generados en el Estudio Diagnóstico y corresponden a los principales gastos en los que se incurrirá en el proyecto.

- i. Inversión inicial por la infraestructura y equipamiento para el manejo de los residuos en Chihuahua.
- ii. Costos de operación y mantenimiento para la transferencia y disposición final de los RSU. Este concepto considera gasto por combustible de las estaciones de transferencia, por mantenimiento, y por gasto de nómina de los operadores.
- iii. Costos de terrenos
- iv. Costos de mantenimiento mayor o reinversiones

### Costo de inversión inicial

El monto total de inversión del proyecto planteado es de \$1,220,645,451 (Mil doscientos veinte millones seiscientos cuarenta y cinco mil cuatrocientos cincuenta y un pesos 00/100 M.N.) sin IVA y \$1,415,948,723 (Mil cuatrocientos quince millones novecientos cuarenta y ocho mil setecientos veintitrés pesos 00/100 M.N.) con IVA.

Tabla 20 Monto de Inversión desglosado por componente

| Concepto                                                            | Unidad         | Cant.  | \$ Importe (Sin IVA)  | \$ Importe (Con IVA)  |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Estación de Transferencia (ET)</b>                               |                |        |                       |                       |
| <b>Infraestructura</b>                                              |                |        | <b>49,118,750.00</b>  | <b>55,537,750.00</b>  |
| Terreno (20,000 M <sup>2</sup> )                                    | m <sup>2</sup> | 20,000 | 9,000,000.00          | 9,000,000.00          |
| Proyecto ejecutivo incluyendo estudios, permisos y trámites         | Lote           | 1      | 5,750,000.00          | 6,670,000.00          |
| Obra civil                                                          | Lote           | 1      | 22,912,500.00         | 26,578,500.00         |
| Obra Mecánica (Tuberías, proceso, estructuras y soportes metálicos) | Lote           | 35%    | 8,019,375.00          | 9,302,475.00          |
| Obra Eléctrica (Canalización y cableado)                            | Lote           | 15%    | 3,436,875.00          | 3,986,775.00          |
| <b>Equipamiento</b>                                                 |                |        | <b>113,672,524.96</b> | <b>131,860,128.95</b> |
| Vehículos menores (Carros compactos y camionetas)                   | unidad         | 5      | 1,750,000.00          | 2,030,000.00          |
| Vehículos recolectores                                              | unidad         | 28     | 1,245,535.71          | 34,875,000.00         |

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| Concepto                                                                                                                                            | Unidad      | Cant.       | \$ Importe (Sin IVA)  | \$ Importe (Con IVA)  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Subestación completa de 300 KVA tipo aérea                                                                                                          | pza         | 1           | 332,933.00            | 386,202.28            |
| Equipos eléctricos (Interruptor, CCM)                                                                                                               | Lote        | 1           | 1,275,000.00          | 1,479,000.00          |
| Sistema contraincendio completo con bomba y tanque                                                                                                  | Lote        | 1           | 4,500,000.00          | 5,220,000.00          |
| Equipos y mobiliario de oficina                                                                                                                     | Lote        | 1           | 450,000.00            | 522,000.00            |
| Báscula de registro y control de 40 t (Cotización báscula similar)                                                                                  | unidad      | 2           | 2,500,000.00          | 2,900,000.00          |
| Contenedor remolque abierto de 30 m³ (Punto verde, Ver Cotización anexa)                                                                            | unidad      | 6           | 3,840,000.00          | 4,454,400.00          |
| Sistema de compactacion MP-5070TS de 2x30 kW completa de 70 toneladas (Ver cotización GREEN ROBOTS 25/08/2022 anexa) Incluye cada uno:              | unidad      | 2           | 47,644,500.00         | 55,267,620.00         |
| C150D6+TT+CA   Planta de emergencia Diesel, capacidad 150KW Standby (Inc. equipo de generación, tablero de transf. y Caseta - Automatica) - CUMMINS | unidad      | 1           | 750,000.00            | 870,000.00            |
| Equipos menores (Taller, PTARi 20 m/d, etc.)                                                                                                        | Lote        | 1           | 7,500,000.00          | 8,700,000.00          |
| Instalación, pruebas y arranque de equipos                                                                                                          | Lote        | 12%         | 8,255,091.96          | 9,575,906.67          |
| <b>Supervisión externa</b>                                                                                                                          | <b>Lote</b> | <b>5%</b>   | <b>5,793,313.75</b>   | <b>6,720,243.95</b>   |
| <b>Sub-TOTAL</b>                                                                                                                                    |             |             | <b>168,584,588.71</b> | <b>194,118,122.90</b> |
| <b>Sitio de Disposición Final (NRSM)</b>                                                                                                            |             |             |                       |                       |
| <b>Infraestructura</b>                                                                                                                              |             |             | <b>228,045,540.81</b> | <b>259,417,893.54</b> |
| Gastos De Preinversión                                                                                                                              | Lote        | 1           | 21,240,416.99         | 24,638,883.71         |
| Terreno Comprado por el Municipio                                                                                                                   | Lote        | 1           | 31,968,336.23         | 31,968,336.23         |
| Celda 1A                                                                                                                                            | Obra        | 1           | 111,491,485.41        | 129,330,123.08        |
| Muro                                                                                                                                                | Obra        | 1           | 21,625,995.78         | 25,086,155.10         |
| Celda Emergencia                                                                                                                                    | Obra        | 1           | 16,550,798.88         | 19,198,926.70         |
| Oficinas, Regaderas, Caseta y Caja                                                                                                                  | Obra        | 1           | 6,282,841.65          | 7,288,096.31          |
| Calles                                                                                                                                              | Obra        | 1           | 3,601,480.86          | 4,177,717.80          |
| Laguna Lixiviados                                                                                                                                   | Obra        | 1           | 2,420,460.94          | 2,807,734.69          |
| Baja Tensión                                                                                                                                        | Obra        | 1           | 1,531,717.38          | 1,776,792.16          |
| Media tensión                                                                                                                                       | Obra        | 1           | \$541,771.55          | 628,455.00            |
| Proyecto                                                                                                                                            | Obra        | 1           | \$174,489.82          | 202,408.19            |
| SISTEMA CONTRAINCENDIOS                                                                                                                             | Obra        | 1           | 7,952,528.82          | 9,224,933.43          |
| SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE LIXIVIADOS                                                                                                                 | Obra        | 1           | 2,663,216.50          | 3,089,331.14          |
| <b>Equipamiento</b>                                                                                                                                 |             |             | <b>6,550,000.00</b>   | <b>7,598,000.00</b>   |
| Bascula de 40 t                                                                                                                                     |             | 2           | 2,500,000.00          | 2,900,000.00          |
| C150D6+TT+CA   Planta de emergencia Diesel, capacidad 150KW Standby (Inc. equipo de generación, tablero de transf. y Caseta - Automatica) - CUMMINS |             | 1           | \$750,000.00          | 870,000.00            |
| Equipo de oficinas y amueblado                                                                                                                      |             | 1           | \$750,000.00          | 70,000.00             |
| Sistema de vigilancia                                                                                                                               |             | 1           | \$750,000.00          | 870,000.00            |
| Sistema de control SCADA                                                                                                                            |             | 1           | \$750,000.00          | 870,000.00            |
| Sistema de monitoreo de lixiviados                                                                                                                  |             | 1           | \$350,000.00          | 06,000.00             |
| Sistema de monitoreo de biogás                                                                                                                      |             | 1           | \$350,000.00          | 406,000.00            |
| Sistema de monitoreo de acuífero                                                                                                                    |             | 1           | \$350,000.00          | 406,000.00            |
| <b>Supervisión</b>                                                                                                                                  | <b>Obra</b> | <b>5.0%</b> | <b>9,069,339.38</b>   | <b>10,520,433.68</b>  |
| <b>Sub-TOTAL</b>                                                                                                                                    |             |             | <b>243,664,880.19</b> | <b>77,536,327.22</b>  |
| <b>PT RSU CDR (FÍSICA + BIOLOGICA AERÓBICA)</b>                                                                                                     |             |             |                       |                       |

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| Concepto                                                                          | Unidad         | Cant.     | \$ Importe (Sin IVA)    | \$ Importe (Con IVA)     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|-------------------------|--------------------------|
| <b>Infraestructura</b>                                                            |                |           | <b>108,409,601.56</b>   | <b>25,755,137.81</b>     |
| Proyecto ejecutivo incluyendo estudios, permisos y trámites                       | Lote           | 1         | 4,750,000.00            | 5,510,000.00             |
| Obra civil                                                                        | Lote           | 1         | 82,927,681.25           | 96,196,110.25            |
| Obra Mecánica (Tuberías, estructuras y soportes metálicos)                        | Lote           | 10%       | 8,292,768.13            | 9,619,611.03             |
| Obra Eléctrica (Canalización y cableado)                                          | Lote           | 15%       | 12,439,152.19           | 14,429,416.54            |
| <b>Equipamiento</b>                                                               |                |           | <b>\$531,622,878.00</b> | <b>\$ 616,682,538.48</b> |
| Vehículos menores (Carros compactos y camionetas)                                 | unidad         | 5         | 1,750,000.00            | 2,030,000.00             |
| Equipo mecánico                                                                   | Lote           | 1         | 350,015,748.00          | 406,018,267.68           |
| Equipo de secado biológico                                                        | Lote           | 1         | 21,835,370.00           | 141,329,029.20           |
| Subestación completa de 1500 KVA terrestre                                        | pza            | 1         | 1,750,000.00            | 2,030,000.00             |
| Equipos eléctricos (Interruptor, CCM)                                             | Lote           | 1         | ,400,000.00             | 1,624,000.00             |
| Sistema contraincendio completo con bomba y tanque                                | Lote           | 1         | 4,500,000.00            | 5,220,000.00             |
| Grúa puente de 15 ton                                                             | unidad         | 3         | 3,750,000.00            | ,350,000.00              |
| Equipos y mobiliario de oficina                                                   | Lote           | 1         | 450,000.00              | 22,000.00                |
| Camion levantacontenedores roll on roll of                                        | unidad         | 3         | 11,250,000.00           | 13,050,000.00            |
| Contenedores de rechazo 34 m <sup>3</sup>                                         | unidad         | 14        | 1,940,400.00            | 2,250,864.00             |
| Báscula magnética                                                                 | unidad         | 1         | 1,127,000.00            | 1,307,320.00             |
| Góndolas de 4 m <sup>3</sup>                                                      | unidad         | 4         | \$ 70,560.00            | 1,849.60                 |
| Báscula electronica digital 2 ton                                                 | unidad         | 2         | \$ 90,000.00            | 104,400.00               |
| Hidrolavadora Karsher                                                             | unidad         | 2         | \$ 21,000.00            | 4,360.00                 |
| Equipo hidráulico hook lift                                                       | unidad         | 4         | 1,528,800.00            | 1,773,408.00             |
| Montacargas Iron FD 30 ton.                                                       | unidad         | 2         | ,278,000.00             | 1,482,480.00             |
| Cargador frontal tipo 950 Cat.                                                    | unidad         | 2         | 7,881,000.00            | 9,141,960.00             |
| Bobcat Iron WS60                                                                  | unidad         | 2         | 1,491,000.00            | 1,729,560.00             |
| Plataforma de tijera Genie GS 1932 8m                                             | unidad         | 2         | \$852,000.00            | 988,320.00               |
|                                                                                   |                |           |                         | \$                       |
| Camión rechazo MV16 International                                                 | unidad         | 4         | 10,224,000.00           | 11,859,840.00            |
| Instalación de equipos periféricos                                                | Lote           | 12%       | \$918,000.00            | 1,064,880.00             |
| Planta de tratamiento biológica aeróbica de lixiviados cap. 250 m <sup>3</sup> /d | unidad         | 1         | 7,500,000.00            | 8,700,000.00             |
| <b>Supervisión externa</b>                                                        | <b>Lote</b>    | <b>3%</b> | <b>19,200,974.39</b>    | <b>22,273,130.29</b>     |
| <b>Sub-TOTAL</b>                                                                  |                |           | <b>\$659,233,453.95</b> | <b>764,710,806.58</b>    |
| <b>CLAUSURA DEL RELLENO SANITARIO</b>                                             |                |           |                         |                          |
| <b>Infraestructura</b>                                                            |                |           | <b>8,080,000.00</b>     | <b>102,172,800.00</b>    |
| Proyecto Ejecutivo                                                                | proyecto       | 1         | \$375,000.00            | 435,000.00               |
| Cobertura final de clausura                                                       |                |           | 0,000,000.00            | 1,200,000.00             |
| Conformación final del sitio                                                      | m <sup>2</sup> | 175,000   | ,250,000.00             | ,090,000.00              |
| Drenaje pluvial                                                                   | ml             | 1,300     | 3,250,000.00            | ,770,000.00              |
| Sistema de captación y manejo de lixiviados                                       | Sistema        | 1         | ,200,000.00             | ,872,000.00              |
| Sistema de captación y quemado de Biogás                                          | unidad         | 25        | ,125,000.00             | ,625,000.00              |
| Sistema de vigilancia remota completo                                             | cámara         | 10        | \$100,000.00            | 116,000.00               |
| Elaboración de programa de mantenimiento postclausura                             | manual         | 1         | \$ 15,000.00            | 17,400.00                |
| Elaboración de programa de monitoreo postclausura                                 | manual         | 1         | \$ 15,000.00            | 17,400.00                |
| Adecuaciones para uso final incluyendo reforestación                              | Lote           | 175,000   | 1,750,000.00            | ,030,000.00              |
| <b>SUPERVISION</b>                                                                | <b>Lote</b>    | <b>5%</b> | <b>4,404,000.00</b>     | <b>5,108,640.00</b>      |
| <b>Sub-TOTAL</b>                                                                  |                |           | <b>92,484,000.00</b>    | <b>107,281,440.00</b>    |

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| Concepto                                       | Unidad | Cant. | \$ Importe (Sin IVA)   | \$ Importe (Con IVA)   |
|------------------------------------------------|--------|-------|------------------------|------------------------|
| <b>Ampliación del Relleno Sanitario Actual</b> |        |       | <b>\$56,678,528</b>    | <b>\$65,747,092</b>    |
| <b>TOTAL</b>                                   |        |       | <b>\$1,220,645,451</b> | <b>\$1,415,948,723</b> |

## Costos de mantenimiento mayor o reinversiones

El proyecto considera costos de mantenimiento mayor para los equipos y maquinaria instalada, así como reinversiones que corresponden a la reposición de equipamiento para asegurar la vida útil de 38 años y un horizonte de evaluación de 40 años.

De manera similar, en las **estaciones de transferencia**, el equipo y vehículos utilizados en la estación requieren ser reemplazados al término de su vida útil, al igual que el equipo de cómputo y el mobiliario.

Por otro lado, en la **planta de separación**, los equipos utilizados en la planta que requieren ser reemplazados al término de su vida útil

Igualmente, el sitio de **disposición final o relleno sanitario** requerirá gastos para reemplazo de maquinaria y equipo de manejo de residuos. Además, se necesitarán gastos para la habilitación de las celdas de confinamiento en tanto las celdas se van saturando y las nuevas deberán entrar en operación en las etapas 1 y 2 del relleno sanitario.

## Costos de Operación y Mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento incluyen el pago de salarios; mantenimiento a la infraestructura y vehículos; combustible; servicios como electricidad; administración; y, supervisión.

Tabla 21 Costos de Operación y Mantenimiento del NRSM

| Concepto                                             | Unidad  | Cantidad | P.U.   | Importe mensual |
|------------------------------------------------------|---------|----------|--------|-----------------|
| <b>Personal Operativo</b>                            |         |          |        |                 |
| <i>Gerente de planta</i>                             | persona | 1        | 36,250 | 36,250          |
| <i>Jefe de operaciones del relleno sanitario</i>     | persona | 1        | 26,100 | 26,100          |
| <i>Supervisor de operaciones</i>                     | persona | 2        | 18,125 | 36,250          |
| <i>Operadores de maquinaria Amarilla</i>             | persona | 4        | 16,500 | 66,000          |
| <i>Operador de camión de volteo 14 m<sup>3</sup></i> | persona | 4        | 14,025 | 56,100          |
| <i>Supervisor de mantenimiento</i>                   | persona | 1        | 18,125 | 18,125          |
| <i>Mecánico</i>                                      | persona | 2        | 15,675 | 31,350          |

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| Concepto                                                         | Unidad   | Cantidad  | P.U.             | Importe mensual  |
|------------------------------------------------------------------|----------|-----------|------------------|------------------|
| <i>Ayudante de mecánico</i>                                      | persona  | 2         | 11,550           | 23,100           |
| <i>Jefe de seguridad y salud ocupacional</i>                     | persona  | 1         | 26,100           | 26,100           |
| <i>Jefe de calidad y medio ambiente</i>                          | persona  | 1         | 26,100           | 26,100           |
| <b>Subtotal de Personal Operativo</b>                            |          |           | <b>208,550</b>   | <b>345,475</b>   |
| <b>Personal Administrativo</b>                                   |          |           |                  |                  |
| <i>Jefe administrativo</i>                                       | persona  | 1         | 26,100           | 26,100           |
| <i>Auxiliar administrativo</i>                                   | persona  | 1         | 20,625           | 20,625           |
| <i>Auxiliar informático</i>                                      | persona  | 1         | 20,625           | 20,625           |
| <i>Auxiliar de almacén</i>                                       | persona  | 1         | 20,625           | 20,625           |
| <i>Vigilantes</i>                                                | persona  | 3         | 13,200           | 39,600           |
| <i>Veladores</i>                                                 | persona  | 2         | 10,725           | 21,450           |
| <i>Basculista</i>                                                | persona  | 2         | 10,725           | 21,450           |
| <i>Auxiliar de compras</i>                                       | persona  | 1         | 20,625           | 20,625           |
| <b>Subtotal de Personal Administrativo</b>                       |          |           | <b>143,250</b>   | <b>191,100</b>   |
| <b>Gastos de Oficina</b>                                         |          |           |                  |                  |
| <i>Energía eléctrica</i>                                         | mes      | 1         | 5,000            | 5,000            |
| <i>Servicios (Teléfono, internet)</i>                            | mes      | 1         | 7,500            | 7,500            |
| <i>Licencias (Software)</i>                                      | mes      | 1         | 1,250            | 1,250            |
| <i>Subcontratos personal de limpieza (3 personas)</i>            | mes      | 1         | 34,500           | 34,500           |
| <i>Subcontratos fumigación y otros</i>                           | mes      | 2         | 7,500            | 15,000           |
| <i>Artículos de limpieza</i>                                     | mes      | 1         | 3,500            | 3,500            |
| <i>Papelería y copias</i>                                        | mes      | 1         | 3,500            | 3,500            |
| <b>Subtotal de Gastos de Oficina</b>                             |          |           | <b>62,750</b>    | <b>70,250</b>    |
| <b>Energía Eléctrica Parte Fija</b>                              |          |           |                  |                  |
| <i>Potencia Instalada</i>                                        | kW       | 150       |                  |                  |
| <i>Potencia en operación</i>                                     |          | 11.7%     |                  |                  |
|                                                                  | kW       | 17.5      |                  |                  |
| <i>Consumo</i>                                                   | kW-h/mes | 12,775    |                  |                  |
| <i>Tarifa de EE en media tensión (HM)</i>                        | \$/kW-h  | 1.899     |                  |                  |
| <i>Otros costos (Base + DF; Dato de instalaciones similares)</i> | 35.0%    | 0.66465   |                  |                  |
| <i>Total tarifa</i>                                              | \$/kW-h  | 2.56365   |                  |                  |
| <i>Costo de energía eléctrica</i>                                | \$/mes   | 32,750.63 |                  |                  |
| <b>Subtotal Energía Eléctrica Parte Fija</b>                     |          | <b>1</b>  | <b>32,750.63</b> | <b>32,751</b>    |
| <b>Laboratorio Externo</b>                                       |          |           |                  |                  |
| <i>Análisis de Laboratorio</i>                                   | mes      | 1         | 12,500           | 12,500           |
| <b>Subtotal de Análisis de Laboratorio</b>                       |          |           | <b>12,500</b>    | <b>12,500</b>    |
| <b>Maquinaria y Renta de Equipo</b>                              |          |           |                  |                  |
| <i>Tractor D7R adaptado para basura</i>                          | h        | 200       | 2,000            | 400,000          |
| <i>Compactador 815</i>                                           | h        | 200       | 1,750            | 350,000          |
| <i>Cargador 953 K</i>                                            | h        | 200       | 1,200            | 240,000          |
| <i>Retroexcavadora Cat516</i>                                    | h        | 200       | 600              | 120,000          |
| <b>Subtotal de Renta de Maquinaria y Equipo</b>                  |          |           | <b>5,550</b>     | <b>1,110,000</b> |
| <b>Costos de Operación (variable)</b>                            |          |           |                  |                  |
| <b>Diesel</b>                                                    |          |           |                  |                  |
| <i>Tractor D7R adaptado para basura</i>                          | lto.     | 4,000     | 19.8275862<br>1  | 79,310           |
| <i>Compactador 815F</i>                                          | lto.     | 4,000     | 19.8275862<br>1  | 79,310           |
| <i>Cargador 953K</i>                                             | lto.     | 3,000     | 19.8275862<br>1  | 59,483           |

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| Concepto                        | Unidad | Cantidad      | P.U.            | Importe mensual |
|---------------------------------|--------|---------------|-----------------|-----------------|
| <i>Retroexcavadora Cat516</i>   | lto.   | 1,500         | 19.8275862<br>1 | 29,741          |
| <i>Camión volteo 14 m³</i>      | lto.   | 5,000         | 19.8275862<br>1 | 99,138          |
| <i>Camión pipa 20 m³</i>        | lto.   | 1,200         | 19.8275862<br>1 | 23,793          |
| <i>Lubricantes</i>              | lto.   | 20%           | 370,776         | 74,155          |
| <b>Subtotal de Diesel</b>       |        | <b>18,700</b> | <b>370,895</b>  | <b>444,931</b>  |
| <b>Refacciones</b>              |        |               |                 |                 |
| <i>Refacciones</i>              | mes    | 20%           | 370,895         | 74,179          |
| <b>Subtotal de Refacciones</b>  |        |               | <b>370,895</b>  | <b>74,179</b>   |
| <b>Costo por Tonelada</b>       |        |               |                 | <b>92.56</b>    |
| <b>Fracción Separada del RS</b> |        |               |                 | <b>83.8%</b>    |

A continuación, se presenta una tabla con los costos de operación y mantenimiento de la Estación de Transferencia.

Tabla 22 Costos de Operación y Mantenimiento de la ET

| Concepto                                              | Unidad   | Cantidad | P.U.           | Importe Mensual |
|-------------------------------------------------------|----------|----------|----------------|-----------------|
| <b>Personal Operativo</b>                             |          |          |                |                 |
| <i>Jefe de operaciones</i>                            | persona  | 1        | 36,250         | 36,250          |
| <i>Supervisor</i>                                     | persona  | 1        | 24,750         | 24,750          |
| <i>Electromecánico</i>                                | persona  | 1        | 16,500         | 16,500          |
| <i>Ayudante de electromecánico</i>                    | persona  | 1        | 13,200         | 13,200          |
| <i>Operadores</i>                                     | persona  | 2        | 16,500         | 33,000          |
| <b>Subtotal de Personal Operativo</b>                 |          | <b>6</b> | <b>107,200</b> | <b>123,700</b>  |
| <b>Personal Administrativo</b>                        |          |          |                |                 |
| <i>Auxiliar administrativo</i>                        | persona  | 1        | 20,625         | 20,625          |
| <i>Velador</i>                                        | persona  | 1        | 10,725         | 10,725          |
| <b>Subtotal de Personal Administrativo</b>            |          | <b>2</b> | <b>31,350</b>  | <b>31,350</b>   |
| <b>Gastos de Oficina</b>                              |          |          |                |                 |
| <i>Energía eléctrica</i>                              | mes      | 1        | 2,500          | 2,500           |
| <i>Servicios (Teléfono, internet)</i>                 | mes      | 1        | 1,500          | 1,500           |
| <i>Licencias (Software)</i>                           | mes      | 1        | 1,250          | 1,250           |
| <i>Subcontratos personal de limpieza (2 personas)</i> | mes      | 1        | 20,000         | 20,000          |
| <i>Subcontratos fumigación y otros</i>                | mes      | 1        | 7,500          | 7,500           |
| <i>Artículos de limpieza</i>                          | mes      | 1        | 3,500          | 3,500           |
| <i>Papelería y copias</i>                             | mes      | 1        | 3,500          | 3,500           |
| <b>Subtotal de Gastos de Oficina</b>                  |          | <b>5</b> | <b>39,750</b>  | <b>39,750</b>   |
| <b>Energía eléctrica Parte Fija</b>                   |          |          |                |                 |
| <i>Consumo parte fija</i>                             | kW-h/mes | 2500     |                |                 |

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| Concepto                                                         | Unidad         | Cantidad  | P.U.         | Importe Mensual   |
|------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|--------------|-------------------|
| <i>Tarifa de EE en media tensión (HM)</i>                        | \$/kW-h        | 1.899     |              |                   |
| <i>Otros costos (Base + DF; Dato de instalaciones similares)</i> | 35%            | 0.66465   |              |                   |
| <i>Total tarifa</i>                                              | \$/kW-h        | 2.6       |              |                   |
| <i>Costo de energía eléctrica</i>                                | \$/mes         | 6,409.1   |              |                   |
| <b>Subtotal de Energía Eléctrica Parte Fija</b>                  |                | <b>1</b>  | <b>6,409</b> | <b>6,409</b>      |
| <b>Laboratorio Externo (Descarga de aguas residuales)</b>        |                |           |              |                   |
| <i>Análisis de Laboratorio</i>                                   | <b>mes</b>     | <b>1</b>  | <b>7,500</b> | <b>7,500</b>      |
| <b>Subtotal Análisis de Laboratorio</b>                          |                | <b>1</b>  | <b>7,500</b> | <b>7,500</b>      |
| <b>Arrendamiento de Equipo</b>                                   | mes            | 1         | 1,311,614    | 1,311,614         |
| <b>Costo Variable</b>                                            |                |           |              |                   |
| <b>Costos de Transporte EQUIPO PROPIO de ET a NRS</b>            |                |           |              |                   |
| <i>Personal (Chofer de tracto)</i>                               | h              | 24,731    | 103          | 2,550,338         |
| <i>Combustible Diesel</i>                                        | l              | 340,045   | 20           | 6,742,273         |
| <i>Lubricantes</i>                                               | %              | 20%       | 6,742,273    | 1,348,455         |
| <i>Mantenimiento y refacciones</i>                               | km             | 680,090   | 12           | 8,090,728         |
| <b>Total Anual (costo variable)</b>                              |                |           |              | <b>18,731,793</b> |
| <b>Total Mensual (costo variable)</b>                            |                |           |              | <b>1,560,983</b>  |
| <b>Energía Eléctrica (variable)</b>                              |                |           |              |                   |
| <i>Potencia Instalada</i>                                        | kW             | 150       |              |                   |
| <i>Potencia en operación</i>                                     | kW             | 120       | 80%          |                   |
| <i>Capacidad nominal de compactación</i>                         | t/h            | 140       |              |                   |
| <i>Número de horas de compactación (Base 365d)</i>               | h/mes          | 170.4     |              |                   |
| <i>Consumo</i>                                                   | kW-h/mes       | 20,447.82 |              |                   |
| <i>Tarifa de EE en media tensión (HM)</i>                        | \$/kW-h        | 1.899     |              |                   |
| <i>Otros costos (Base + DF; Dato de instalaciones similares)</i> | 35%            | 0.66465   |              |                   |
| <i>Total tarifa</i>                                              | \$/kW-h        | 2.56365   |              |                   |
| <i>Costo de energía eléctrica</i>                                | \$/mes         | 52,421    |              |                   |
| <b>Subtotal Energía Eléctrica Variable</b>                       |                |           | <b>2.56</b>  | <b>52,421</b>     |
| <b>Reactivos químicos PTAR</b>                                   |                |           |              |                   |
| <i>Reactivos Químicos</i>                                        | m <sup>3</sup> | 600       | 40           | 24,000            |
| <b>Subtotal Reactivos Químicos</b>                               | m <sup>3</sup> | 600       | 40           | 24,000            |
| <b>Costo por Tonelada</b>                                        | <b>68.1</b>    |           |              |                   |

A continuación, se presenta una tabla con los costos de operación y mantenimiento de la Planta de Separación

Tabla 23 Costos de Operación y Mantenimiento de la Planta de Separación

| Concepto                                                         | Unidad   | Cantidad   | P.U.               | Importe Mensual  |
|------------------------------------------------------------------|----------|------------|--------------------|------------------|
| <b>Personal</b>                                                  |          |            |                    |                  |
| <i>Gerente de Planta</i>                                         | persona  | 1          | 58,000             | 58,000           |
| <i>Superintendente</i>                                           | persona  | 2          | 33,000             | 66,000           |
| <i>Operadores</i>                                                | persona  | 118        | 10,725             | 1,265,550        |
| <i>Supervisor de mantenimiento</i>                               | persona  | 1          | 24,750             | 24,750           |
| <i>Encargados de mantenimiento</i>                               | persona  | 14         | 10,725             | 150,150          |
| <i>Gerente administrativo</i>                                    | persona  | 1          | 50,750             | 50,750           |
| <i>Jefe administrativo</i>                                       | persona  | 1          | 36,250             | 36,250           |
| <i>Administrativos</i>                                           | persona  | 18         | 10,725             | 193,050          |
| <b>Subtotal de Personal</b>                                      |          | <b>156</b> | <b>234,925</b>     | <b>1,844,500</b> |
| <b>Gastos de Oficina</b>                                         |          |            |                    |                  |
| <i>Energía eléctrica</i>                                         | mes      | 1          | 5,000              | 5,000            |
| <i>Servicios (Teléfono, internet)</i>                            | mes      | 1          | 1,500              | 1,500            |
| <i>Licencias (Software)</i>                                      | mes      | 1          | 1,250              | 1,250            |
| <i>Subcontratos personal de limpieza (3 personas)</i>            | mes      | 1          | 30,000             | 30,000           |
| <i>Subcontratos fumigación y otros</i>                           | mes      | 1          | 7,500              | 7,500            |
| <i>Artículos de limpieza</i>                                     | mes      | 1          | 3,500              | 3,500            |
| <i>Papelería y copias</i>                                        | mes      | 1          | 3,500              | 3,500            |
| <b>Subtotal de Gastos de Oficina</b>                             |          | <b>7</b>   | <b>52,250</b>      | <b>52,250</b>    |
| <b>Energía eléctrica Parte Fija</b>                              |          |            |                    |                  |
| <i>Consumo parte fija</i>                                        | kW-h/mes | 4,500.00   |                    |                  |
| <i>Tarifa de EE en media tensión (HM)</i>                        | \$/kW-h  | 1.899      |                    |                  |
| <i>Otros costos (Base + DF; Dato de instalaciones similares)</i> | 35%      | 0.66465    |                    |                  |
| <i>Total tarifa</i>                                              | \$/kW-h  | 2.56365    |                    |                  |
| <i>Costo de energía eléctrica</i>                                | \$/mes   | 11,536     |                    |                  |
| <b>Subtotal Energía Eléctrica parte fija</b>                     |          | <b>1</b>   | <b>11,536</b>      | <b>11,536.43</b> |
| <b>Laboratorio Externo (Descarga de aguas residuales)</b>        |          |            |                    |                  |
| <i>Análisis de Laboratorio</i>                                   | mes      | 1          | 7,500              | 7,500            |
| <b>Subtotal Análisis de Laboratorio</b>                          |          | <b>1</b>   | <b>7,500</b>       | <b>7,500</b>     |
| <b>Maquinaria y Equipo</b>                                       |          |            |                    |                  |
| <i>Mantenimiento y refacciones de equipos (2% anual)</i>         | mes      | 0.2%       | 261,186,439        | 435,311          |
| <i>Consumibles taller y otros</i>                                | mes      | 20%        | 435,311            | 87,062.15        |
| <i>Combustibles y lubricantes vehículos</i>                      | vehículo | 5          | 7,000              | 35,000           |
| <i>Reposición de equipos menores (10 años)</i>                   | mes      | 0.8%       | 26,118,644         | 217,655          |
| <b>Subtotal de Maquinaria y Equipo</b>                           |          |            | <b>287,747,394</b> | <b>775,028</b>   |
| <b>Costo Variable</b>                                            |          |            |                    |                  |

Ficha con la descripción del Proyecto  
Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| Concepto                                                         | Unidad     | Cantidad     | P.U.         | Importe Mensual  |
|------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|------------------|
| <b>Energía Eléctrica</b>                                         |            |              |              |                  |
| <i>Consumo</i>                                                   | kW-h/mes   | 458,378      |              |                  |
| <i>Tarifa de EE en media tensión (HM)</i>                        | \$/kW-h    | 1.899        |              |                  |
| <i>Otros costos (Base + DF; Dato de instalaciones similares)</i> | 35%        | 0.66465      |              |                  |
| <i>Total tarifa</i>                                              | \$/kW-h    | 2.56365      |              |                  |
| <b>Subtotal Energía Eléctrica Variable</b>                       |            |              | <b>2.564</b> | <b>1,175,121</b> |
| <b>Costo de Rechazo</b>                                          |            |              |              |                  |
| <i>Cantidad de RSU + RME</i>                                     | ton/año    | 412,508      |              |                  |
| <i>Rechazos a SDF</i>                                            | ton/mes    | 5,528        |              |                  |
| <i>Costo de disposición final</i>                                | \$/ton     | 270          |              |                  |
| <b>Subtotal de Costo de Rechazo</b>                              |            |              | <b>270</b>   | <b>1,492,559</b> |
| <b>Costo de Lixiviados</b>                                       |            |              |              |                  |
| <i>Flujo másico de RSU</i>                                       | t/año      | 412,508      |              |                  |
| <i>Generación de Lixiviado</i>                                   | t/día prom | 1,130        |              |                  |
|                                                                  | l/ton      | 183.27       |              |                  |
|                                                                  | l/día      | 207,121      |              |                  |
|                                                                  | m³/mes     | 6,300        |              |                  |
| <i>Costo por disposición</i>                                     | \$/m³      | 60.0         |              |                  |
| <b>Subtotal de Costo de Lixiviado</b>                            |            | <b>6,300</b> | <b>60</b>    | <b>377,996</b>   |
| <b>Costo Variable por Tonelada</b>                               |            |              |              | <b>88</b>        |

Finalmente, se presenta la tabla con los costos de mantenimiento del sitio clausurado.

Tabla 24 . Costos de Operación y Mantenimiento del Sitio Clausurado

| Concepto                                                | Unidad | Cantidad | P.U.      | Importe Mensual |
|---------------------------------------------------------|--------|----------|-----------|-----------------|
| <i>Monitoreos (Biogás, lixiviados, acuíferos, etc.)</i> | mes    | 1        | 15,000.00 | 15,000          |
| <i>Mantenimiento taludes</i>                            | mes    | 1        | 15,000.00 | 15,000          |
| <i>Mantenimiento de canales pluviales</i>               | mes    | 1        | 7,500.00  | 7,500           |
| <b>Total mensual</b>                                    |        |          |           | <b>37,500</b>   |
| <b>Total anual</b>                                      |        |          |           | <b>450,000</b>  |

### Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del Proyecto de Inversión

Los beneficios que se identificaron para este proyecto y que le son atribuibles se dividen en directos, indirectos y externalidades positivas.

Por un lado, los beneficios directos son:

- Evitar la contaminación del subsuelo y mantos acuíferos al proteger el suelo y canalizar los lixiviados.
- Disminución en la contaminación del aire al controlar los gases invernadero generados por la basura, como el metano, del relleno existente.
- Revalorización al máximo de los residuos.
- Mejora en la provisión de servicios públicos municipales.
- Cumplimiento con la normatividad ambiental nacional e internacional.

Beneficios indirectos y externalidades:

- Recuperación en el valor de los terrenos donde actualmente se encuentran los tiraderos.
- Incremento en el valor de las propiedades aledañas.
- Reducción de riesgos a la salud pública al eliminar los vectores de contagio (ratas, moscas, mosquitos, cucarachas y aves) de enfermedades como cólera, salmonelosis, dengue, fiebre tifoidea, malaria, toxoplasmosis, amibiasis, giardiasis, leptospirosis, entre otras.
- Disminución de peligro de incendios accidentales en los tiraderos a cielo abierto y su propagación a las comunidades cercanas.
- Formalización de empleos
- Impulso a la economía circular.

Asimismo, algunos de los beneficios anteriormente expuestos son cuantificables y otros no cuantificables. La dificultad para la valoración está relacionada con aquéllos que se refieren a la mejora ambiental, disminución de riesgos para la salud y cumplimiento de reglas, principalmente.

- Disminución en la contaminación del subsuelo y mantos acuíferos al proteger el suelo y canalizar los lixiviados.
- Disminución de la contaminación del agua al evitar que la basura llegue a lagos, ríos y lagunas.
- Mejora en la provisión de servicios públicos municipales.
- Cumplimiento con la normatividad ambiental nacional e internacional.
- Reducción de riesgos a la salud pública al eliminar los vectores de contagio (ratas, moscas, mosquitos, cucarachas y aves) de enfermedades como cólera, salmonelosis, dengue, fiebre tifoidea, malaria, toxoplasmosis, amibiasis, giardiasis, leptospirosis, entre otras.
- Disminución de peligro de incendios accidentales en los tiraderos a cielo abierto y su propagación a las comunidades cercanas.

**Beneficios**

Para efectos de la cuantificación de beneficios en el presente proyecto se considerarán los siguientes:

- i. Valorización de la Fracción reciclable recuperable
- ii. Valorización de residuos mediante la generación de Combustible derivado de Residuos (CDR)
- iii. Ahorro en costos de operación de transporte por ahorro de combustible
- iv. Reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por la disminución de km recorridos
- v. Valorización de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) de metano y óxido nitroso evitadas por disposición final en relleno sanitario y tratamiento biológico.

**Valorización de materiales reciclables**

Consiste en la separación y recuperación de materiales reciclables que son procesados y vendidos para su subsecuente reutilización. La caracterización de RSU obtenida en el “Estudio Diagnóstico, Generación y Composición de los Residuos” (2023) para el Proyecto Integral de Residuos para el municipio de Chihuahua, se muestra en el capítulo 1 de este reporte, en resumen, podemos identificar lo siguiente:

Tabla 25 Composición de RSU y RME por categoría

| Categoría          | Toneladas totales |         |
|--------------------|-------------------|---------|
|                    | al día            | %Global |
| Inorg. No Recup.   | 425.1             | 37.00%  |
| Inorg. Recuperable | 500.2             | 43.54%  |
| Orgánico           | 219.1             | 19.07%  |
| Peligrosos         | 4.4               | 0.38%   |
| Total              | 1,148.7           | 100.0%  |

**Fuente:** Elaboración propia con base en la generación 2023  
(toneladas generadas por día hábil) Ver III. Situación Actual de la memoria de cálculo

Tabla 26 Composición de la Fracción Inorgánica Recuperable (FIR)

| Subproducto    | %Global | Toneladas totales<br>al día |
|----------------|---------|-----------------------------|
| Papel y Cartón | 32.08%  | 160.5                       |
| Plástico       | 53.10%  | 265.6                       |

| Subproducto        | %Global     | Toneladas totales al día |
|--------------------|-------------|--------------------------|
| Vidrio             | 9.52%       | 47.6                     |
| Metales            | 5.30%       | 26.5                     |
| <b>Grand Total</b> | <b>100%</b> | <b>500.2</b>             |

**Fuente:** *Elaboración propia con base en la generación 2023 (toneladas generadas por día hábil) Ver III. Situación Actual de la memoria de cálculo*

A partir de las tablas anteriores se identificaron los bienes que son susceptibles a reciclaje y para los que existe un mercado para su posterior venta como lo son el cartón, PET, lata de aluminio, tetra Pak, vidrio, plástico rígido, material ferroso, etc. Asimismo, se tomaron en consideración diversas tasas de rechazo, es decir, el porcentaje del volumen dispuesto que por cuestiones del manejo de los residuos y el estado en el que se reciben no son susceptibles a recuperar y valorizar. Estas tasas se detallan en la Memoria de Cálculo y se sustentan según lo observado en el “Estudio Diagnóstico, Generación y Composición de los Residuos” (2023) para el Proyecto Integral de Residuos para el municipio de Chihuahua y considerando una compactación por los camiones recolectores, proceso mediante el cual algunos de los materiales reciclables se vuelven irrecuperables, y por lo tanto, terminarán en el relleno sanitario.

En cuanto a lo que sí se recupera, se estima que el volumen asciende a un 44% de la generación de residuos sólidos, o 500 ton/día. Este beneficio se estimó como el producto del porcentaje del tipo de residuo –obtenida de la caracterización de los RSU—menos la proporción de rechazo y multiplicado por el precio de mercado del tipo de bien. Por ejemplo:

Valorización material reciclable (cartón)

|                                                    |                                    |
|----------------------------------------------------|------------------------------------|
| Composición % RSU:                                 | 8.6%                               |
| Porcentaje recuperable para valorización:          | 3.1%                               |
| Toneladas de RSU generadas (2025):                 | 429,453 ton/anual                  |
| Tonelada de cartón generada menos tasa de rechazo: | 429,453 x (3.1%) =13,230 ton/anual |
| Precio por tonelada:                               | 2,800 \$/kg                        |
| Beneficio por valorización de cartón (2025):       | 13,861 x 2,800 = \$ 37,044,495     |

A continuación, se presenta una tabla con los precios de los valorizables empleados para la estructuración de este Proyecto.

Tabla 27 Precios de mercado de reciclables

|   | Materiales Reciclables | Precio por Ton |
|---|------------------------|----------------|
| 1 | Cartón                 | \$2,800.00     |
| 2 | Lata de aluminio       | \$20,000.00    |
| 3 | Papel                  | \$1,300.00     |
| 4 | PET                    | \$4,000.00     |
| 5 | Plástico rígido        | \$5,000.00     |

Ficha con la descripción del Proyecto

Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.

Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

|    | Materiales Reciclables | Precio por Ton |
|----|------------------------|----------------|
| 6  | Vidrio                 | \$950.00       |
| 7  | Plástico mixto         | \$3,000.00     |
| 8  | Papel aluminio         | \$2,000.00     |
| 9  | Tetrapak               | \$2,000.00     |
| 10 | Material ferroso       | \$1,300.00     |

Fuente: Suprareciclaje

Fuente: Elaboración propia con datos del Estudio

Diagnóstico de Chihuahua (2023)

A continuación, se presenta una tabla con el flujo esperado de los reciclables a lo largo del horizonte de planeación del presente Proyecto.

Tabla 28 Valorización de los materiales reciclables

| No | Cartón                     | Lata de aluminio           | PET                        | Vidrio                   | Total                       |
|----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 0  | -                          | -                          | -                          | -                        | -                           |
| 1  | -                          | -                          | -                          | -                        | -                           |
| 2  | \$ 37,482,872.65           | \$ 50,407,305.88           | \$ 80,051,602.43           | \$ 12,826,859.09         | \$ 312,192,513.94           |
| 3  | \$ 37,878,077.44           | \$ 50,938,780.85           | \$ 80,895,635.30           | \$ 12,962,100.48         | \$ 315,484,150.03           |
| 4  | \$ 38,249,036.54           | \$ 51,437,650.00           | \$ 81,687,887.02           | \$ 13,089,044.86         | \$ 318,573,845.26           |
| 5  | \$ 38,597,695.13           | \$ 51,906,529.22           | \$ 82,432,511.88           | \$ 13,208,357.88         | \$ 321,477,800.95           |
| 6  | \$ 38,927,528.73           | \$ 52,350,092.43           | \$ 83,136,932.51           | \$ 13,321,228.88         | \$ 324,224,964.54           |
| 7  | \$ 39,242,188.04           | \$ 52,773,249.11           | \$ 83,808,945.62           | \$ 13,428,907.14         | \$ 326,845,742.33           |
| 8  | \$ 39,544,954.97           | \$ 53,180,412.82           | \$ 84,455,560.36           | \$ 13,532,515.76         | \$ 329,367,469.28           |
| 9  | \$ 39,838,825.67           | \$ 53,575,612.79           | \$ 85,083,175.56           | \$ 13,633,080.04         | \$ 331,815,100.05           |
| 10 | \$ 40,126,584.25           | \$ 53,962,593.12           | \$ 85,697,737.17           | \$ 13,731,552.71         | \$ 334,211,823.30           |
| 11 | \$ 40,409,207.89           | \$ 54,342,667.96           | \$ 86,301,332.21           | \$ 13,828,268.19         | \$ 336,565,778.08           |
| 12 | \$ 40,687,222.10           | \$ 54,716,543.97           | \$ 86,895,082.92           | \$ 13,923,406.28         | \$ 338,881,341.06           |
| 13 | \$ 40,959,345.42           | \$ 55,082,497.88           | \$ 87,476,252.59           | \$ 14,016,528.48         | \$ 341,147,839.32           |
| 14 | \$ 41,222,526.42           | \$ 55,436,426.07           | \$ 88,038,324.25           | \$ 14,106,590.56         | \$ 343,339,857.50           |
| 15 | \$ 41,472,791.75           | \$ 55,772,985.14           | \$ 88,572,812.12           | \$ 14,192,232.83         | \$ 345,424,301.85           |
| 16 | \$ 41,706,140.41           | \$ 56,086,794.53           | \$ 89,071,171.31           | \$ 14,272,086.11         | \$ 347,367,848.30           |
| 17 | \$ 41,919,115.31           | \$ 56,373,205.10           | \$ 89,526,018.57           | \$ 14,344,967.37         | \$ 349,141,702.99           |
| 18 | \$ 42,110,610.19           | \$ 56,630,729.14           | \$ 89,934,991.27           | \$ 14,410,498.04         | \$ 350,736,651.90           |
| 19 | \$ 42,280,542.07           | \$ 56,859,255.07           | \$ 90,297,912.22           | \$ 14,468,649.73         | \$ 352,152,003.97           |
| 20 | \$ 42,430,837.71           | \$ 57,061,374.00           | \$ 90,618,896.33           | \$ 14,520,081.78         | \$ 353,403,806.98           |
| 21 | \$ 42,563,221.03           | \$ 57,239,404.29           | \$ 90,901,625.39           | \$ 14,565,384.13         | \$ 354,506,419.46           |
| 22 | \$ 42,680,291.77           | \$ 57,396,842.08           | \$ 91,151,651.59           | \$ 14,605,446.42         | \$ 355,481,494.38           |
| 23 | \$ 42,784,603.56           | \$ 57,537,121.52           | \$ 91,374,428.70           | \$ 14,641,142.53         | \$ 356,350,300.79           |
| 24 | \$ 42,878,470.35           | \$ 57,663,354.42           | \$ 91,574,898.57           | \$ 14,673,264.29         | \$ 357,132,111.40           |
| 25 | \$ 42,963,514.65           | \$ 57,777,722.77           | \$ 91,756,526.39           | \$ 14,702,366.95         | \$ 357,840,440.09           |
| 26 | \$ 43,040,750.55           | \$ 57,881,590.30           | \$ 91,921,477.93           | \$ 14,728,797.53         | \$ 358,483,733.08           |
| 27 | \$ 43,110,085.85           | \$ 57,974,833.05           | \$ 92,069,556.29           | \$ 14,752,524.48         | \$ 359,061,222.53           |
| 28 | \$ 43,170,819.93           | \$ 58,056,508.78           | \$ 92,199,265.14           | \$ 14,773,308.04         | \$ 359,567,072.87           |
| 29 | \$ 43,220,998.37           | \$ 58,123,989.20           | \$ 92,306,430.47           | \$ 14,790,479.40         | \$ 359,985,006.00           |
| 30 | \$ 43,258,085.98           | \$ 58,173,864.96           | \$ 92,385,637.93           | \$ 14,803,170.99         | \$ 360,293,906.42           |
| 31 | \$ 43,279,787.26           | \$ 58,203,049.03           | \$ 92,431,985.01           | \$ 14,810,597.30         | \$ 360,474,655.01           |
| 32 | \$ 43,284,774.68           | \$ 58,209,756.16           | \$ 92,442,636.58           | \$ 14,812,304.02         | \$ 360,516,194.94           |
| 33 | \$ 43,272,310.74           | \$ 58,192,994.54           | \$ 92,416,017.52           | \$ 14,808,038.79         | \$ 360,412,383.51           |
| 34 | \$ 43,242,828.71           | \$ 58,153,346.85           | \$ 92,353,053.20           | \$ 14,797,949.87         | \$ 360,166,829.56           |
| 35 | \$ 43,197,527.07           | \$ 58,092,424.78           | \$ 92,256,303.16           | \$ 14,782,447.38         | \$ 359,789,514.96           |
| 36 | \$ 43,138,175.82           | \$ 58,012,608.69           | \$ 92,129,547.61           | \$ 14,762,137.03         | \$ 359,295,182.15           |
| 37 | \$ 43,066,296.10           | \$ 57,915,944.20           | \$ 91,976,035.19           | \$ 14,737,539.37         | \$ 358,696,500.43           |
| 38 | \$ 42,983,694.81           | \$ 57,804,861.23           | \$ 91,799,624.85           | \$ 14,709,272.72         | \$ 358,008,519.39           |
| 39 | \$ 42,892,344.78           | \$ 57,682,012.89           | \$ 91,604,529.99           | \$ 14,678,012.21         | \$ 357,247,670.71           |
|    | <b>\$ 1,583,114,684.73</b> | <b>\$ 2,128,986,934.82</b> | <b>\$ 3,381,034,013.16</b> | <b>\$ 541,751,139.66</b> | <b>\$ 13,185,663,699.32</b> |

En total, los beneficios anuales para 2026, por valorización de reciclables ascienden a una cantidad de **\$312,192,513.94** (trescientos doce millones ciento noventa y dos quinientos trece pesos 94/100 M.N.).

## **Valorización de residuos mediante la generación de Combustible Derivado de Residuos (CDR)**

El proyecto considera una planta de tratamiento biológico que permite la producción de Combustibles Derivados de Residuos (CDR), los cuales se estiman vender a la industria para reducir el volumen total para disponer en el relleno sanitario y obtener ingresos para hacer al proyecto más autosustentable, el Municipio ya se encuentra en negociaciones con los potenciales clientes.

Desde la definición estratégica del proyecto, la Administración Municipal, se planteó como muy importante objetivo el de minimizar o eliminar los precursores de metano en las celdas del Nuevo Relleno Sanitario, por ello, en conjunto con los objetivos de valorización y aprovechamiento en reciclaje, se definió que la nueva Planta de Separación y Tratamiento Biológico debería también ser capaz de procesar la fracción orgánica de los RSU y de esa manera eliminar los precursores de metano en toda la parte aguas debajo de la cadena de Disposición Final de RSU, y en este caso por medio de preparar Combustibles Derivados de Residuos, o CDR; para ser aprovechado en uno o los dos posibles usuarios de esta, ahora ya, materia prima, que les aportará un combustible alternativo que les permite reducir su dependencia de combustibles fósiles y así, se logra una doble reducción de emisiones; la primera debido a la eliminación de los precursores, y por tanto de las emisiones de metano desde el relleno sanitario; y la segunda debido a la sustitución de combustibles fósiles.

Los potenciales tomadores del CDR son dos empresas, la cementera y la cervecera que utilizan calor para sus procesos productivos y que, también es su objetivo corporativo minimizar su impacto ambiental por medio de, entre otras acciones, maximizar el uso de combustibles alternos obtenidos en la economía circular (ver Estudio de mercado).

De acuerdo con las investigaciones que se han llevado a cabo, la planta cervecera, ubicada a 50 kilómetros de la Ciudad de Chihuahua, puede quemar el CDR en sus calderas del sistema de producción de botellas de vidrio, ya que al ser calderas de lecho fluidizado, pueden aceptar el CDR en su forma granular.

En el caso de la cementera, ésta cuenta con dos plantas, una en la propia Ciudad de Chihuahua, y la otra a 300 kilómetros de ésta; la planta más distante tiene el potencial de quemar una mayor cantidad de CDR, puesto que se trata de un horno rotatorio para producción de clínker equipado con una torre de pre-calcinador y por tanto puede el CDR ser integrado en la cascada de material que alimenta la torre del pre-calcinador. el transporte a la planta cementera más lejana se hará por ferrocarril, para evitar los impactos del flete en el costo del CDR. Se estima que la abundancia de este combustible en la

planta de la Ciudad de Chihuahua, pudiera generar un ahorro en costos de la cementera que justifique la conversión de su proceso a uno más moderno y más eficiente en cuanto al usos del calor, con lo que al materializarse esta oportunidad, tendríamos un tercer beneficio ambiental, adicional a los otros dos y que sería la reducción de las emisiones derivadas de un menor consumo calorífico de las instalaciones actuales.

Aproximadamente el 76% (336,823 en 2025) de los Residuos totales, después de la separación, pasarán a tratamiento biológico, de los cuales 13% se convertirá en CDR verde y 41% se convertirá en CDR plástico, listo para su venta en el mercado.

Según el Estudio Diagnóstico de Chihuahua (2023), el precio del CDR Verde se encuentra alrededor de 150 \$/Ton, y el precio del CDR plástico 300 \$/Ton, en pesos mexicanos (MXN), lo cual se considera fijo para efectos de la evaluación social y resulta en la siguiente tabla de valorización:

Tabla 29 Valorización de CDR

| Año     | Toneladas de Residuos Susceptibles a CDR | Toneladas generadas de CDR VERDE | Toneladas generadas de CDR PLASTICO | Valorización CDR VERDE | Valorización CDR PLASTICO | Total Valorización CDR |
|---------|------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| 0 2024  | 0                                        | 0                                | 0                                   | 0                      | 0                         | 0                      |
| 1 2025  | 0                                        | 0                                | 0                                   | 0                      | 0                         | 0                      |
| 2 2026  | 340,796                                  | 125,077                          | 62,442                              | \$ 18,761,517.08       | \$ 18,732,697.10          | \$ 37,494,214.18       |
| 3 2027  | 344,389                                  | 126,396                          | 63,101                              | \$ 18,959,331.19       | \$ 18,930,207.35          | \$ 37,889,538.55       |
| 4 2028  | 347,762                                  | 127,633                          | 63,719                              | \$ 19,145,009.48       | \$ 19,115,600.41          | \$ 38,260,609.89       |
| 5 2029  | 350,932                                  | 128,797                          | 64,299                              | \$ 19,319,525.56       | \$ 19,289,848.42          | \$ 38,609,373.98       |
| 6 2030  | 353,931                                  | 129,897                          | 64,849                              | \$ 19,484,619.06       | \$ 19,454,688.32          | \$ 38,939,307.38       |
| 7 2031  | 356,792                                  | 130,947                          | 65,373                              | \$ 19,642,117.29       | \$ 19,611,944.61          | \$ 39,254,061.90       |
| 8 2032  | 359,544                                  | 131,958                          | 65,878                              | \$ 19,793,662.96       | \$ 19,763,257.48          | \$ 39,556,920.44       |
| 9 2033  | 362,216                                  | 132,938                          | 66,367                              | \$ 19,940,755.74       | \$ 19,910,124.32          | \$ 39,850,880.06       |
| 10 2034 | 364,833                                  | 133,899                          | 66,846                              | \$ 20,084,789.19       | \$ 20,053,936.51          | \$ 40,138,725.70       |
| 11 2035 | 367,402                                  | 134,842                          | 67,317                              | \$ 20,226,252.43       | \$ 20,195,182.44          | \$ 40,421,434.87       |
| 12 2036 | 369,930                                  | 135,769                          | 67,780                              | \$ 20,365,408.47       | \$ 20,334,124.72          | \$ 40,699,533.19       |
| 13 2037 | 372,404                                  | 136,677                          | 68,234                              | \$ 20,501,615.92       | \$ 20,470,122.94          | \$ 40,971,738.86       |
| 14 2038 | 374,797                                  | 137,556                          | 68,672                              | \$ 20,633,347.41       | \$ 20,601,652.08          | \$ 41,234,999.49       |
| 15 2039 | 377,072                                  | 138,391                          | 69,089                              | \$ 20,758,614.15       | \$ 20,726,726.39          | \$ 41,485,340.54       |
| 16 2040 | 379,194                                  | 139,169                          | 69,478                              | \$ 20,875,413.49       | \$ 20,843,346.32          | \$ 41,718,759.81       |
| 17 2041 | 381,130                                  | 139,880                          | 69,833                              | \$ 20,982,015.04       | \$ 20,949,784.11          | \$ 41,931,799.15       |
| 18 2042 | 382,871                                  | 140,519                          | 70,152                              | \$ 21,077,865.07       | \$ 21,045,486.90          | \$ 42,123,351.97       |
| 19 2043 | 384,416                                  | 141,086                          | 70,435                              | \$ 21,162,922.05       | \$ 21,130,413.22          | \$ 42,293,335.27       |
| 20 2044 | 385,783                                  | 141,588                          | 70,685                              | \$ 21,238,150.38       | \$ 21,205,526.00          | \$ 42,443,676.38       |
| 21 2045 | 386,987                                  | 142,029                          | 70,906                              | \$ 21,304,412.97       | \$ 21,271,686.80          | \$ 42,576,099.76       |
| 22 2046 | 388,051                                  | 142,420                          | 71,101                              | \$ 21,363,011.06       | \$ 21,330,194.87          | \$ 42,693,205.93       |
| 23 2047 | 388,999                                  | 142,768                          | 71,274                              | \$ 21,415,222.84       | \$ 21,382,326.45          | \$ 42,797,549.28       |
| 24 2048 | 389,853                                  | 143,081                          | 71,431                              | \$ 21,462,206.51       | \$ 21,429,237.95          | \$ 42,891,444.47       |
| 25 2049 | 390,626                                  | 143,365                          | 71,572                              | \$ 21,504,774.23       | \$ 21,471,740.28          | \$ 42,976,514.50       |
| 26 2050 | 391,328                                  | 143,623                          | 71,701                              | \$ 21,543,433.55       | \$ 21,510,340.22          | \$ 43,053,773.77       |
| 27 2051 | 391,959                                  | 143,854                          | 71,817                              | \$ 21,578,138.35       | \$ 21,544,991.70          | \$ 43,123,130.06       |
| 28 2052 | 392,511                                  | 144,057                          | 71,918                              | \$ 21,608,537.93       | \$ 21,575,344.58          | \$ 43,183,882.51       |
| 29 2053 | 392,967                                  | 144,224                          | 72,001                              | \$ 21,633,654.03       | \$ 21,600,422.11          | \$ 43,234,076.13       |
| 30 2054 | 393,304                                  | 144,348                          | 72,063                              | \$ 21,652,217.71       | \$ 21,618,957.26          | \$ 43,271,174.97       |
| 31 2055 | 393,502                                  | 144,421                          | 72,099                              | \$ 21,663,079.97       | \$ 21,629,802.84          | \$ 43,292,882.81       |
| 32 2056 | 393,547                                  | 144,437                          | 72,108                              | \$ 21,665,576.35       | \$ 21,632,295.39          | \$ 43,297,871.74       |
| 33 2057 | 393,434                                  | 144,396                          | 72,087                              | \$ 21,659,337.70       | \$ 21,626,066.32          | \$ 43,285,404.03       |
| 34 2058 | 393,166                                  | 144,297                          | 72,038                              | \$ 21,644,580.90       | \$ 21,611,332.19          | \$ 43,255,913.08       |
| 35 2059 | 392,754                                  | 144,146                          | 71,962                              | \$ 21,621,905.80       | \$ 21,588,691.92          | \$ 43,210,597.73       |
| 36 2060 | 392,214                                  | 143,948                          | 71,863                              | \$ 21,592,198.39       | \$ 21,559,030.14          | \$ 43,151,228.53       |
| 37 2061 | 391,561                                  | 143,708                          | 71,744                              | \$ 21,556,220.02       | \$ 21,523,107.04          | \$ 43,079,327.06       |

Ficha con la descripción del Proyecto  
Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| Año |      | Toneladas de Residuos Susceptibles a CDR | Toneladas generadas de CDR VERDE | Toneladas generadas de CDR PLASTICO | Valorización CDR VERDE | Valorización CDR PLASTICO | Total Valorización CDR |
|-----|------|------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| 38  | 2062 | 390,810                                  | 143,433                          | 71,606                              | \$ 21,514,875.12       | \$ 21,481,825.65          | \$ 42,996,700.77       |
| 39  | 2063 | 389,979                                  | 143,128                          | 71,454                              | \$ 21,469,151.17       | \$ 21,436,171.94          | \$ 42,905,323.10       |

Fuente: Elaboración propia con datos del Estudio Diagnóstico de Chihuahua (2023)

En resumen, el proyecto generará en promedio un ingreso por concepto de venta de CDR por un monto de 41 millones de pesos.

### Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por ahorro en transporte

Para el cálculo de las emisiones evitadas por concepto de transporte o menor número de km recorridos, se utiliza el factor calculado por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos de América dentro de su catálogo “*Greenhouse Gas (GHG) Emission Factors Hub*” actualizado a enero 2024, señala que se producen 10.21 kg de CO<sub>2</sub> por cada galón de Diesel utilizado para automóviles, el cual es equivalente a 2.7 kg de CO<sub>2</sub> por litro de Diesel. Posteriormente, se multiplicó el factor de 2.7 por los litros de Diesel no utilizados por el ahorro del proyecto, entre 1000. Finalmente, se valoriza con base en los precios de la CEPAL.

Tabla 30 Valorización de emisiones evitadas por transporte

| Año |      | Emisiones de CO2 evitadas en Transporte (anuales) | Valorización (\$ pesos) |
|-----|------|---------------------------------------------------|-------------------------|
| 0   | 2024 | 0                                                 | \$ -                    |
| 1   | 2025 | 0                                                 | \$ -                    |
| 2   | 2026 | 2,121                                             | \$ 2,782,630.47         |
| 3   | 2027 | 2,121                                             | \$ 2,824,791.53         |
| 4   | 2028 | 2,121                                             | \$ 2,866,952.60         |
| 5   | 2029 | 2,121                                             | \$ 2,909,113.67         |
| 6   | 2030 | 2,121                                             | \$ 2,951,274.74         |
| 7   | 2031 | 2,121                                             | \$ 3,017,678.42         |
| 8   | 2032 | 2,121                                             | \$ 3,085,576.18         |
| 9   | 2033 | 2,121                                             | \$ 3,155,001.65         |
| 10  | 2034 | 2,121                                             | \$ 3,225,989.18         |
| 11  | 2035 | 2,121                                             | \$ 3,298,573.94         |
| 12  | 2036 | 2,121                                             | \$ 3,372,791.85         |
| 13  | 2037 | 2,121                                             | \$ 3,448,679.67         |
| 14  | 2038 | 2,121                                             | \$ 3,526,274.96         |
| 15  | 2039 | 2,121                                             | \$ 3,605,616.15         |
| 16  | 2040 | 2,121                                             | \$ 3,686,742.51         |
| 17  | 2041 | 2,121                                             | \$ 3,769,694.22         |
| 18  | 2042 | 2,121                                             | \$ 3,854,512.34         |
| 19  | 2043 | 2,121                                             | \$ 3,941,238.87         |
| 20  | 2044 | 2,121                                             | \$ 4,029,916.74         |
| 21  | 2045 | 2,121                                             | \$ 4,120,589.87         |
| 22  | 2046 | 2,121                                             | \$ 4,213,303.14         |
| 23  | 2047 | 2,121                                             | \$ 4,308,102.46         |
| 24  | 2048 | 2,121                                             | \$ 4,405,034.77         |
| 25  | 2049 | 2,121                                             | \$ 4,504,148.05         |

| Año |      | Emisiones de CO2 evitadas en Transporte (anuales) | Valorización (\$ pesos) |
|-----|------|---------------------------------------------------|-------------------------|
| 26  | 2050 | 2,121                                             | \$ 4,605,491.38         |
| 27  | 2051 | 2,121                                             | \$ 4,709,114.94         |
| 28  | 2052 | 2,121                                             | \$ 4,815,070.02         |
| 29  | 2053 | 2,121                                             | \$ 4,923,409.10         |
| 30  | 2054 | 2,121                                             | \$ 5,034,185.80         |
| 31  | 2055 | 2,121                                             | \$ 5,147,454.98         |
| 32  | 2056 | 2,121                                             | \$ 5,263,272.72         |
| 33  | 2057 | 2,121                                             | \$ 5,381,696.36         |
| 34  | 2058 | 2,121                                             | \$ 5,502,784.52         |
| 35  | 2059 | 2,121                                             | \$ 5,626,597.18         |
| 36  | 2060 | 2,121                                             | \$ 5,753,195.61         |
| 37  | 2061 | 2,121                                             | \$ 5,882,642.51         |
| 38  | 2062 | 2,121                                             | \$ 6,015,001.97         |
| 39  | 2063 | 2,121                                             | \$ 6,150,339.51         |

Fuente: Elaboración propia con datos del Estudio Diagnóstico de Chihuahua (2023)

### Ahorro en costos de operación (OPEX) en transporte

Según, lo establecido en el Estudio Diagnostico los costos de operación sin la estación de transferencia, el traslado de los camiones recolectores al NRSM, representa un costo de \$93,569,156.74 pesos mexicanos en oposición a lo estimado como Costos de Operación con la Estación de transferencia, que alcanza los \$60,658,571.18 pesos mexicanos. Esto representa un ahorro en costos de \$32,910,585.56 anuales.

Tabla 31 Ahorros en Costos de Operación

|                                         | SIN E.T.                | CON E.T.                |
|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Traslado en camiones recolectores       | \$ 93,569,156.74        | \$ 20,116,413.39        |
| Traslado en tractores con caja transfer | \$ -                    | \$ 40,542,157.79        |
|                                         | <b>\$ 93,569,156.74</b> | <b>\$ 60,658,571.18</b> |
| Ahorros en opex de transporte por año   | \$ -                    | \$ 32,910,585.56        |

### Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Dióxido de Carbono equivalente)

La cuantificación de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se calcula con base en la “Metodología para el cálculo de emisiones de metano y óxido nitroso provenientes del tratamiento biológico de los residuos sólidos urbanos” y la “Metodología para el cálculo de emisiones de metano provenientes de la disposición final de residuos sólidos urbanos” sustentadas en las “Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de 2006 para los inventarios nacionales de gases de

efecto invernadero” y se considera un precio social del carbono estimado por el Banco Mundial para América Latina. A pesar de que se podrían valorizar estas reducciones introduciéndolas al mercado internacional del carbono, este estudio sólo considerará la evaluación social de las mismas. Este proyecto considera el mismo criterio utilizado en el mercado del carbono en la que el proyecto sólo podrá generar créditos de carbono para venta si los gases del relleno sanitario son capturados, destruidos o utilizados para generar energía.

El Proyecto Integral de Residuos Sólidos del municipio de Chihuahua considera una planta de tratamiento biológico, la cual emite gases que se detallan en el Estudio Diagnóstico de Chihuahua (2023) y que las metodologías nacionales e internacionales mencionadas en el párrafo que antecede considera en su metodología el cálculo para el metano. Asimismo, el proyecto incluye un relleno sanitario con sistemas de captación de biogás para su destrucción, por lo que el proyecto podrá considerar la mitigación en la emisión de gases de efecto invernadero como un beneficio social cuantificable.

Para ello, se comparará el escenario en el que los residuos no se tratasen (tiradero a cielo abierto) y el escenario en el que se llevase a cabo el proyecto tal cual se presenta en este estudio. Para ello, utilizaremos las Metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero generado por residuos sólidos urbanos en sitios de disposición final publicada por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en 2020. En este método se formula la hipótesis de que el componente orgánico degradable de los residuos se descompone lentamente a lo largo de unas pocas décadas, durante las cuales se forman el metano y el dióxido de carbono. Si las condiciones permanecen constantes, el índice de producción de metano depende únicamente de la cantidad de carbono restante en los residuos. De aquí resulta que las emisiones de metano generadas por los residuos dispuestos en los sitios de disposición final son las más altas durante los primeros pocos años siguientes a la eliminación y que, luego, éstas decaen a medida que el carbono degradable de los desechos es consumido por las bacterias responsables de la descomposición (IPCC, 2006). Adicionalmente, se consideraron las velocidades de degradación del Modelo Mexicano de Biogás considerando que estas contemplan los climas y temperaturas del país” (INECC, 2020).

En la siguiente tabla, se observan la totalidad de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) generadas en la hipótesis de tiradero a cielo abierto (TCA) y la totalidad de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) generadas con tratamiento biológico y relleno sanitario (RS y TB). La diferencia entre ellas representa el volumen de emisiones evitadas con el proyecto, mismas que se convertirán en CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e), para así poder valorizarlo con los precios proporcionados por CEPAL (2019), "Precio social del carbono y la inversión pública en América Latina y el Caribe", el cual cuenta con un valor central de 64 dólares por tonelada, como valor central para tomar un escenario conservador. Y considerando la tasa de crecimiento de los precios como sigue “se aplica un precio bajo y alto, comenzando en 40 USD/Tonelada de CO<sub>2</sub>e y 80 USD/Tonelada de CO<sub>2</sub>e, respectivamente, en 2020, y aumentando a 50 USD/Tonelada de CO<sub>2</sub>e y 100 USD/Tonelada de CO<sub>2</sub>e para el 2030. Más allá de 2030, el precio aumenta a una tasa de 2.25% anual hasta 2050” (CEPAL, 2019).

Asimismo, se considera el tipo de cambio promedio de los últimos 5 años (2018-2023), según el histórico del Observatorio de precios de las Naciones Unidas (UN Operational Rates of Exchange, UNORE), mismo que alcanza los 19.88 (diecinueve pesos 88/100 M.N.).

En primer lugar, como se mencionó en el párrafo anterior, el cálculo de los beneficios sociales del proyecto con respecto a las emisiones de gases invernadero se realiza comparando con la emisión de gases en la ausencia del proyecto. En este caso, según la “Metodología para el cálculo de emisiones de metano provenientes de la disposición final de residuos sólidos urbanos” disponer de los residuos (425,477.65 toneladas 2026) en tiraderos a cielo abierto generaría una cantidad 773.47 toneladas de CH<sub>4</sub> para 2026 (Ecuación 5 de la Metodología de INECC). La proyección anual se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 32 CH<sub>4</sub> generado (Ecuación 5) por Categoría de residuos (Ton/año) en Tiradero a Cielo Abierto

| t  | Año  | Total de RS (Ton/año) | Comida   | Jardín | Papel    | Madera y paja | Textiles | Pañales | Total de CH <sub>4</sub> generado (Ton/año) |
|----|------|-----------------------|----------|--------|----------|---------------|----------|---------|---------------------------------------------|
| 0  | 2024 | 419,224.84            | 86.29    | 6.21   | 21.39    | 1.29          | 6.55     | 20.87   | 142.60                                      |
| 1  | 2025 | 422,410.94            | 281.42   | 20.76  | 72.57    | 4.39          | 22.21    | 68.05   | 469.39                                      |
| 2  | 2026 | 425,477.65            | 459.42   | 34.70  | 123.09   | 7.49          | 37.67    | 111.10  | 773.47                                      |
| 3  | 2027 | 428,421.95            | 621.88   | 48.07  | 172.97   | 10.57         | 52.93    | 150.39  | 1,056.81                                    |
| 4  | 2028 | 431,240.97            | 770.21   | 60.88  | 222.20   | 13.65         | 68.00    | 186.25  | 1,321.18                                    |
| 5  | 2029 | 433,931.91            | 905.69   | 73.15  | 270.77   | 16.71         | 82.86    | 219.02  | 1,568.20                                    |
| 6  | 2030 | 436,492.11            | 1,029.48 | 84.92  | 318.69   | 19.76         | 97.53    | 248.95  | 1,799.33                                    |
| 7  | 2031 | 438,927.74            | 1,142.64 | 96.20  | 365.95   | 22.80         | 111.99   | 276.32  | 2,015.89                                    |
| 8  | 2032 | 441,236.50            | 1,246.11 | 107.00 | 412.55   | 25.82         | 126.25   | 301.34  | 2,219.07                                    |
| 9  | 2033 | 443,416.21            | 1,340.76 | 117.35 | 458.48   | 28.84         | 140.30   | 324.23  | 2,409.96                                    |
| 10 | 2034 | 445,464.79            | 1,427.36 | 127.27 | 503.75   | 31.83         | 154.16   | 345.17  | 2,589.54                                    |
| 11 | 2035 | 447,380.29            | 1,506.62 | 136.77 | 548.35   | 34.81         | 167.81   | 364.33  | 2,758.68                                    |
| 12 | 2036 | 449,160.86            | 1,579.16 | 145.87 | 592.27   | 37.77         | 181.25   | 381.88  | 2,918.19                                    |
| 13 | 2037 | 450,804.79            | 1,645.56 | 154.58 | 635.52   | 40.72         | 194.48   | 397.93  | 3,068.79                                    |
| 14 | 2038 | 452,310.48            | 1,706.34 | 162.91 | 678.09   | 43.64         | 207.51   | 412.63  | 3,211.12                                    |
| 15 | 2039 | 453,676.46            | 1,761.96 | 170.89 | 719.97   | 46.55         | 220.33   | 426.08  | 3,345.78                                    |
| 16 | 2040 | 454,901.38            | 1,812.86 | 178.51 | 761.17   | 49.43         | 232.93   | 438.39  | 3,473.30                                    |
| 17 | 2041 | 456,002.24            | 1,859.41 | 185.80 | 801.68   | 52.30         | 245.33   | 449.65  | 3,594.17                                    |
| 18 | 2042 | 456,978.09            | 1,901.98 | 192.77 | 841.50   | 55.14         | 257.52   | 459.94  | 3,708.86                                    |
| 19 | 2043 | 457,828.07            | 1,940.89 | 199.43 | 880.63   | 57.96         | 269.49   | 469.35  | 3,817.75                                    |
| 20 | 2044 | 458,551.44            | 1,976.41 | 205.78 | 919.06   | 60.76         | 281.25   | 477.94  | 3,921.21                                    |
| 21 | 2045 | 459,147.55            | 2,008.82 | 211.85 | 956.80   | 63.53         | 292.80   | 485.78  | 4,019.59                                    |
| 22 | 2046 | 459,744.44            | 2,038.43 | 217.64 | 993.87   | 66.28         | 304.14   | 492.94  | 4,113.31                                    |
| 23 | 2047 | 460,342.11            | 2,065.51 | 223.17 | 1,030.27 | 69.01         | 315.29   | 499.49  | 4,202.74                                    |
| 24 | 2048 | 460,940.56            | 2,090.30 | 228.45 | 1,066.03 | 71.72         | 326.23   | 505.48  | 4,288.20                                    |
| 25 | 2049 | 461,539.78            | 2,113.02 | 233.49 | 1,101.15 | 74.40         | 336.98   | 510.98  | 4,370.01                                    |
| 26 | 2050 | 462,139.78            | 2,133.86 | 238.31 | 1,135.65 | 77.06         | 347.53   | 516.02  | 4,448.43                                    |
| 27 | 2051 | 462,740.56            | 2,153.01 | 242.91 | 1,169.54 | 79.70         | 357.90   | 520.65  | 4,523.71                                    |
| 28 | 2052 | 463,342.13            | 2,170.63 | 247.31 | 1,202.83 | 82.31         | 368.09   | 524.91  | 4,596.09                                    |
| 29 | 2053 | 463,944.47            | 2,186.86 | 251.52 | 1,235.54 | 84.91         | 378.10   | 528.83  | 4,665.76                                    |
| 30 | 2054 | 464,547.60            | 2,201.83 | 255.54 | 1,267.67 | 87.48         | 387.93   | 532.45  | 4,732.91                                    |
| 31 | 2055 | 465,151.51            | 2,215.67 | 259.39 | 1,299.24 | 90.03         | 397.60   | 535.80  | 4,797.73                                    |
| 32 | 2056 | 465,756.21            | 2,228.48 | 263.07 | 1,330.26 | 92.57         | 407.09   | 538.90  | 4,860.36                                    |
| 33 | 2057 | 466,361.69            | 2,240.37 | 266.59 | 1,360.74 | 95.08         | 416.41   | 541.77  | 4,920.96                                    |
| 34 | 2058 | 466,967.96            | 2,251.41 | 269.97 | 1,390.69 | 97.57         | 425.58   | 544.44  | 4,979.65                                    |
| 35 | 2059 | 467,575.02            | 2,261.69 | 273.20 | 1,420.11 | 100.04        | 434.58   | 546.93  | 5,036.56                                    |
| 36 | 2060 | 468,182.87            | 2,271.29 | 276.29 | 1,449.03 | 102.48        | 443.43   | 549.25  | 5,091.79                                    |

| t  | Año  | Total de RS (Ton/año) | Comida   | Jardín | Papel    | Madera y paja | Textiles | Pañales | Total de CH <sub>4</sub> generado (Ton/año) |
|----|------|-----------------------|----------|--------|----------|---------------|----------|---------|---------------------------------------------|
| 37 | 2061 | 468,791.50            | 2,280.27 | 279.25 | 1,477.46 | 104.91        | 452.13   | 551.42  | 5,145.45                                    |
| 38 | 2062 | 469,400.93            | 2,288.68 | 282.10 | 1,505.39 | 107.32        | 460.68   | 553.46  | 5,197.63                                    |
| 39 | 2063 | 470,011.15            | 2,296.59 | 284.82 | 1,532.84 | 109.71        | 469.08   | 555.37  | 5,248.42                                    |

Por otro lado, si se realiza el proyecto, según la “Metodología para el cálculo de emisiones de metano y óxido nitroso provenientes del tratamiento biológico de los residuos sólidos urbanos” (INECC, 2020), las emisiones de metano emitidas durante el tratamiento biológico (Ecuación 1) no serán incluidas en el estudio ya que la Metodología mencionada no especifica los factores correspondientes para la tecnología que se utilizará. Asimismo, se trata de una tecnología con procesos controlados que capturarán en toda su capacidad las emisiones de metano

Asimismo, según la “Metodología para el cálculo de emisiones de metano provenientes de la disposición final de residuos sólidos urbanos” para el tipo de sitio “Gestionado semi-anaeróbico” disponer de 84,108 toneladas de residuos sólidos (2026) en el relleno sanitario considerado en el Proyecto Integral de Residuos Sólidos del municipio de Chihuahua, generaría 116.83 toneladas de metano que crecerán exponencialmente hasta 2063 alcanzando 1,344.32 toneladas comparadas con las 5,248.42 toneladas de metano que se emitirían con un tiradero a cielo abierto, lo cual puede observarse en la tabla siguiente:

Tabla 33 CH<sub>4</sub> generado (Ecuación 5) por Categoría de residuos (Ton/año) en Relleno Sanitario

| t  | Año  | Total de RS en Relleno Sanitario (Ton/año) | Comida | Jardín | Papel  | Madera y paja | Textiles | Pañales | Total de CH <sub>4</sub> generado (Ton/año) |
|----|------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|---------------|----------|---------|---------------------------------------------|
| 0  | 2024 |                                            |        |        |        |               |          |         |                                             |
| 1  | 2025 |                                            |        |        |        |               |          |         |                                             |
| 2  | 2026 | 84,108                                     | 70.04  | 5.17   | 18.06  | 1.09          | 5.53     | 16.94   | 116.83                                      |
| 3  | 2027 | 84,995                                     | 114.58 | 8.65   | 30.70  | 1.87          | 9.39     | 27.71   | 192.90                                      |
| 4  | 2028 | 85,828                                     | 155.36 | 12.01  | 43.20  | 2.64          | 13.22    | 37.57   | 264.00                                      |
| 5  | 2029 | 86,610                                     | 192.72 | 15.23  | 55.58  | 3.41          | 17.01    | 46.60   | 330.56                                      |
| 6  | 2030 | 87,350                                     | 226.96 | 18.33  | 67.82  | 4.19          | 20.75    | 54.88   | 392.93                                      |
| 7  | 2031 | 88,056                                     | 258.36 | 21.30  | 79.93  | 4.96          | 24.46    | 62.48   | 451.48                                      |
| 8  | 2032 | 88,736                                     | 287.17 | 24.16  | 91.89  | 5.72          | 28.12    | 69.44   | 506.51                                      |
| 9  | 2033 | 89,395                                     | 313.63 | 26.91  | 103.72 | 6.49          | 31.74    | 75.84   | 558.34                                      |
| 10 | 2034 | 90,041                                     | 337.95 | 29.56  | 115.41 | 7.26          | 35.32    | 81.72   | 607.22                                      |
| 11 | 2035 | 90,675                                     | 360.34 | 32.10  | 126.97 | 8.02          | 38.86    | 87.14   | 653.42                                      |
| 12 | 2036 | 91,299                                     | 380.97 | 34.54  | 138.39 | 8.78          | 42.35    | 92.13   | 697.17                                      |
| 13 | 2037 | 91,909                                     | 400.00 | 36.90  | 149.68 | 9.54          | 45.80    | 96.73   | 738.65                                      |
| 14 | 2038 | 92,500                                     | 417.57 | 39.16  | 160.83 | 10.30         | 49.22    | 100.98  | 778.06                                      |
| 15 | 2039 | 93,061                                     | 433.80 | 41.34  | 171.85 | 11.06         | 52.59    | 104.90  | 815.52                                      |
| 16 | 2040 | 93,585                                     | 448.79 | 43.43  | 182.72 | 11.81         | 55.92    | 108.53  | 851.19                                      |
| 17 | 2041 | 94,063                                     | 462.62 | 45.44  | 193.45 | 12.56         | 59.20    | 111.87  | 885.14                                      |
| 18 | 2042 | 94,493                                     | 475.39 | 47.37  | 204.03 | 13.30         | 62.44    | 114.96  | 917.49                                      |
| 19 | 2043 | 94,874                                     | 487.16 | 49.22  | 214.45 | 14.04         | 65.63    | 117.81  | 948.32                                      |
| 20 | 2044 | 95,211                                     | 498.00 | 51.00  | 224.72 | 14.78         | 68.77    | 120.43  | 977.70                                      |
| 21 | 2045 | 95,508                                     | 507.98 | 52.70  | 234.83 | 15.51         | 71.86    | 122.84  | 1,005.73                                    |
| 22 | 2046 | 95,771                                     | 517.16 | 54.33  | 244.77 | 16.24         | 74.90    | 125.06  | 1,032.47                                    |
| 23 | 2047 | 96,005                                     | 525.60 | 55.89  | 254.55 | 16.96         | 77.90    | 127.10  | 1,058.01                                    |
| 24 | 2048 | 96,216                                     | 533.36 | 57.39  | 264.17 | 17.68         | 80.84    | 128.98  | 1,082.41                                    |

Ficha con la descripción del Proyecto

Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.

Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| t  | Año  | Total de RS en Relleno Sanitario (Ton/año) | Comida | Jardín | Papel  | Madera y paja | Textiles | Pañales | Total de CH <sub>4</sub> generado (Ton/año) |
|----|------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|---------------|----------|---------|---------------------------------------------|
| 25 | 2049 | 96,407                                     | 540.49 | 58.81  | 273.62 | 18.39         | 83.73    | 130.70  | 1,105.75                                    |
| 26 | 2050 | 96,580                                     | 547.04 | 60.18  | 282.92 | 19.09         | 86.58    | 132.29  | 1,128.09                                    |
| 27 | 2051 | 96,735                                     | 553.05 | 61.49  | 292.05 | 19.79         | 89.37    | 133.74  | 1,149.50                                    |
| 28 | 2052 | 96,872                                     | 558.57 | 62.73  | 301.02 | 20.49         | 92.12    | 135.08  | 1,170.01                                    |
| 29 | 2053 | 96,984                                     | 563.63 | 63.93  | 309.83 | 21.18         | 94.81    | 136.30  | 1,189.67                                    |
| 30 | 2054 | 97,067                                     | 568.25 | 65.06  | 318.47 | 21.86         | 97.46    | 137.42  | 1,208.52                                    |
| 31 | 2055 | 97,116                                     | 572.45 | 66.14  | 326.95 | 22.53         | 100.05   | 138.43  | 1,226.57                                    |
| 32 | 2056 | 97,127                                     | 576.25 | 67.17  | 335.26 | 23.20         | 102.60   | 139.35  | 1,243.84                                    |
| 33 | 2057 | 97,099                                     | 579.66 | 68.15  | 343.40 | 23.86         | 105.09   | 140.18  | 1,260.34                                    |
| 34 | 2058 | 97,033                                     | 582.70 | 69.08  | 351.37 | 24.52         | 107.53   | 140.91  | 1,276.10                                    |
| 35 | 2059 | 96,932                                     | 585.38 | 69.95  | 359.16 | 25.16         | 109.91   | 141.56  | 1,291.12                                    |
| 36 | 2060 | 96,798                                     | 587.72 | 70.78  | 366.77 | 25.80         | 112.24   | 142.12  | 1,305.44                                    |
| 37 | 2061 | 96,637                                     | 589.73 | 71.56  | 374.21 | 26.43         | 114.52   | 142.61  | 1,319.06                                    |
| 38 | 2062 | 96,452                                     | 591.44 | 72.29  | 381.47 | 27.06         | 116.74   | 143.02  | 1,332.01                                    |
| 39 | 2063 | 96,247                                     | 592.85 | 72.98  | 388.55 | 27.67         | 118.90   | 143.36  | 1,344.32                                    |

Habiendo calculado las emisiones correspondientes a cada uno de los tratamientos de nuestro interés, ahora podemos continuar con el cálculo de las diferencias entre ambos escenarios. Como se puede observar en la Tabla siguiente, como lo determina la Ecuación 3 de la Metodología, el total de las emisiones de metano del TCA ascienden a 139,422.57 toneladas en el horizonte del proyecto, y la suma de las emisiones con el Relleno Sanitario asciende a un total de 34,412.36 toneladas de metano emitidas, lo que da como resultado un volumen de 104,398 toneladas de metano evitadas, que equivalen a 2.9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas.

Tabla 34 Emisiones de CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub> equivalente evitadas con Proyecto

| t  | Año  | CH <sub>4</sub> generado en TCA (Ton/año) | CH <sub>4</sub> generado en Relleno Sanitario (Ton/año) | CH <sub>4</sub> evitado (Ton/año) | Emisiones de metano evitadas en CO <sub>2</sub> equivalente (Ton/año) |
|----|------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|    |      | A                                         | B                                                       | B-A                               | D                                                                     |
| 0  | 2024 | 142.60                                    | -                                                       | -                                 | -                                                                     |
| 1  | 2025 | 469.39                                    | -                                                       | -                                 | -                                                                     |
| 2  | 2026 | 773.47                                    | 116.83                                                  | 656.64                            | 18,386.00                                                             |
| 3  | 2027 | 1,056.81                                  | 192.90                                                  | 863.91                            | 24,189.50                                                             |
| 4  | 2028 | 1,321.18                                  | 264.00                                                  | 1,057.18                          | 29,600.92                                                             |
| 5  | 2029 | 1,568.20                                  | 330.56                                                  | 1,237.64                          | 34,654.02                                                             |
| 6  | 2030 | 1,799.33                                  | 392.93                                                  | 1,406.39                          | 39,379.06                                                             |
| 7  | 2031 | 2,015.89                                  | 451.48                                                  | 1,564.41                          | 43,803.43                                                             |
| 8  | 2032 | 2,219.07                                  | 506.51                                                  | 1,712.56                          | 47,951.60                                                             |
| 9  | 2033 | 2,409.96                                  | 558.34                                                  | 1,851.63                          | 51,845.52                                                             |
| 10 | 2034 | 2,589.54                                  | 607.22                                                  | 1,982.32                          | 55,504.82                                                             |
| 11 | 2035 | 2,758.68                                  | 653.42                                                  | 2,105.26                          | 58,947.22                                                             |
| 12 | 2036 | 2,918.19                                  | 697.17                                                  | 2,221.02                          | 62,188.69                                                             |
| 13 | 2037 | 3,068.79                                  | 738.65                                                  | 2,330.13                          | 65,243.77                                                             |
| 14 | 2038 | 3,211.12                                  | 778.06                                                  | 2,433.06                          | 68,125.81                                                             |
| 15 | 2039 | 3,345.78                                  | 815.52                                                  | 2,530.25                          | 70,847.14                                                             |
| 16 | 2040 | 3,473.30                                  | 851.19                                                  | 2,622.11                          | 73,419.15                                                             |
| 17 | 2041 | 3,594.17                                  | 885.14                                                  | 2,709.03                          | 75,852.90                                                             |
| 18 | 2042 | 3,708.86                                  | 917.49                                                  | 2,791.37                          | 78,158.25                                                             |

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| t            | Año  | CH <sub>4</sub> generado en TCA<br>(Ton/año) | CH <sub>4</sub> generado en Relleno Sanitario<br>(Ton/año) | CH <sub>4</sub> evitado<br>(Ton/año) | Emisiones de metano evitadas en CO <sub>2</sub> equivalente<br>(Ton/año) |
|--------------|------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|              |      | A                                            | B                                                          | B-A                                  | D                                                                        |
| 19           | 2043 | 3,817.75                                     | 948.32                                                     | 2,869.43                             | 80,344.11                                                                |
| 20           | 2044 | 3,921.21                                     | 977.70                                                     | 2,943.51                             | 82,418.38                                                                |
| 21           | 2045 | 4,019.59                                     | 1,005.73                                                   | 3,013.86                             | 84,388.09                                                                |
| 22           | 2046 | 4,113.31                                     | 1,032.47                                                   | 3,080.84                             | 86,263.44                                                                |
| 23           | 2047 | 4,202.74                                     | 1,058.01                                                   | 3,144.73                             | 88,052.43                                                                |
| 24           | 2048 | 4,288.20                                     | 1,082.41                                                   | 3,205.79                             | 89,762.23                                                                |
| 25           | 2049 | 4,370.01                                     | 1,105.75                                                   | 3,264.26                             | 91,399.31                                                                |
| 26           | 2050 | 4,448.43                                     | 1,128.09                                                   | 3,320.34                             | 92,969.49                                                                |
| 27           | 2051 | 4,523.71                                     | 1,149.50                                                   | 3,374.22                             | 94,478.13                                                                |
| 28           | 2052 | 4,596.09                                     | 1,170.01                                                   | 3,426.08                             | 95,930.19                                                                |
| 29           | 2053 | 4,665.76                                     | 1,189.67                                                   | 3,476.08                             | 97,330.36                                                                |
| 30           | 2054 | 4,732.91                                     | 1,208.52                                                   | 3,524.40                             | 98,683.08                                                                |
| 31           | 2055 | 4,797.73                                     | 1,226.57                                                   | 3,571.16                             | 99,992.57                                                                |
| 32           | 2056 | 4,860.36                                     | 1,243.84                                                   | 3,616.53                             | 101,262.76                                                               |
| 33           | 2057 | 4,920.96                                     | 1,260.34                                                   | 3,660.62                             | 102,497.28                                                               |
| 34           | 2058 | 4,979.65                                     | 1,276.10                                                   | 3,703.55                             | 103,699.41                                                               |
| 35           | 2059 | 5,036.56                                     | 1,291.12                                                   | 3,745.43                             | 104,872.07                                                               |
| 36           | 2060 | 5,091.79                                     | 1,305.44                                                   | 3,786.35                             | 106,017.82                                                               |
| 37           | 2061 | 5,145.45                                     | 1,319.06                                                   | 3,826.39                             | 107,138.93                                                               |
| 38           | 2062 | 5,197.63                                     | 1,332.01                                                   | 3,865.62                             | 108,237.36                                                               |
| 39           | 2063 | 5,248.42                                     | 1,344.32                                                   | 3,904.10                             | 109,314.81                                                               |
| <b>Total</b> |      | <b>139,422.57</b>                            | <b>34,412.36</b>                                           | <b>104,398.22</b>                    | <b>2,923,150.05</b>                                                      |

Finalmente, para la cuantificación y valorización de las emisiones evitadas, la cantidad en metano se convertirá en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), para ello, siguiendo la metodología citada, Ecuación 11, las emisiones calculadas se deben multiplicar por el Potencial de Calentamiento global de metano (PCG<sub>CH<sub>4</sub></sub>) establecido en el “Acuerdo que establece los gases o compuestos de efecto invernadero que se agrupan para efectos de reporte de emisiones, así como sus potenciales de calentamiento” publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de agosto de 2015, el cual asciende a 28. Así, se obtiene que en el horizonte de evaluación las emisiones de metano evitadas en CO<sub>2</sub> equivalente ascienden a un total de 2,923,150 toneladas que valorizadas con los precios sociales del carbono proporcionado por la CEPAL (2019) en su estudio "Precio social del carbono y la inversión pública en América Latina y el Caribe" ascienden a un promedio de 163 millones de pesos anuales (desde 2026) que serán considerados como los beneficios sociales de las misiones de metano evitadas con la realización del proyecto.

Tabla 35 Valorización de las Emisiones de CH4 evitadas con Proyecto

| t | Año  | Emisiones de metano evitadas en CO <sub>2</sub> equivalente<br>(Ton/año) | Valorización de CO <sub>2</sub> equivalente<br>MXN |
|---|------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|   |      | D                                                                        | D*PrecioBonoMXN                                    |
| 0 | 2024 | -                                                                        |                                                    |
| 1 | 2025 | -                                                                        |                                                    |

Ficha con la descripción del Proyecto  
 Anexo al Oficio No. 0058-2025 CHIH/DESP.PRES. del 18 de marzo de 2025.  
 Sujeta a la Nota Aclaratoria de sus propios términos.

| t     | Año  | Emisiones de metano evitadas en CO <sub>2</sub> equivalente (Ton/año) | Valorización de CO <sub>2</sub> equivalente<br>MXN |
|-------|------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 2     | 2026 | 18,386.00                                                             | \$24,123,901.07                                    |
| 3     | 2027 | 24,189.50                                                             | \$32,219,451.38                                    |
| 4     | 2028 | 29,600.92                                                             | \$40,015,712.02                                    |
| 5     | 2029 | 34,654.02                                                             | \$47,535,612.54                                    |
| 6     | 2030 | 39,379.06                                                             | \$54,799,898.04                                    |
| 7     | 2031 | 43,803.43                                                             | \$62,328,377.27                                    |
| 8     | 2032 | 47,951.60                                                             | \$69,766,057.12                                    |
| 9     | 2033 | 51,845.52                                                             | \$77,128,629.60                                    |
| 10    | 2034 | 55,504.82                                                             | \$84,430,314.75                                    |
| 11    | 2035 | 58,947.22                                                             | \$91,684,169.59                                    |
| 12    | 2036 | 62,188.69                                                             | \$98,902,152.50                                    |
| 13    | 2037 | 65,243.77                                                             | \$106,095,427.85                                   |
| 14    | 2038 | 68,125.81                                                             | \$113,274,617.71                                   |
| 15    | 2039 | 70,847.14                                                             | \$120,449,935.46                                   |
| 16    | 2040 | 73,419.15                                                             | \$127,631,220.62                                   |
| 17    | 2041 | 75,852.90                                                             | \$134,828,926.33                                   |
| 18    | 2042 | 78,158.25                                                             | \$142,052,553.92                                   |
| 19    | 2043 | 80,344.11                                                             | \$149,310,929.41                                   |
| 20    | 2044 | 82,418.38                                                             | \$156,611,961.85                                   |
| 21    | 2045 | 84,388.09                                                             | \$163,962,804.81                                   |
| 22    | 2046 | 86,263.44                                                             | \$171,377,672.36                                   |
| 23    | 2047 | 88,052.43                                                             | \$178,867,787.78                                   |
| 24    | 2048 | 89,762.23                                                             | \$186,443,725.28                                   |
| 25    | 2049 | 91,399.31                                                             | \$194,115,557.27                                   |
| 26    | 2050 | 92,969.49                                                             | \$201,892,964.50                                   |
| 27    | 2051 | 94,478.13                                                             | \$209,785,448.29                                   |
| 28    | 2052 | 95,930.19                                                             | \$217,802,423.88                                   |
| 29    | 2053 | 97,330.36                                                             | \$225,953,474.51                                   |
| 30    | 2054 | 98,683.08                                                             | \$234,248,439.35                                   |
| 31    | 2055 | 99,992.57                                                             | \$242,697,370.24                                   |
| 32    | 2056 | 101,262.76                                                            | \$251,310,376.20                                   |
| 33    | 2057 | 102,497.28                                                            | \$260,097,586.02                                   |
| 34    | 2058 | 103,699.41                                                            | \$269,068,950.66                                   |
| 35    | 2059 | 104,872.07                                                            | \$278,234,163.63                                   |
| 36    | 2060 | 106,017.82                                                            | \$287,602,592.84                                   |
| 37    | 2061 | 107,138.93                                                            | \$297,183,390.93                                   |
| 38    | 2062 | 108,237.36                                                            | \$306,985,419.25                                   |
| 39    | 2063 | 109,314.81                                                            | \$317,017,233.47                                   |
| Total |      | 2,923,150.05                                                          | \$6,227,837,230.30                                 |

## Cálculo de los indicadores de rentabilidad

Tabla 36 Indicadores de Rentabilidad

| Indicadores                          | Valor           |
|--------------------------------------|-----------------|
| Valor Presente Neto (VPN)            | \$1,691,088,637 |
| Tasa interna de retorno (TIR)        | 22.25%          |
| Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) | 22.20%          |

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el Proyecto tienen un impacto positivo ya que genera mayores beneficios sociales que costos.

### Análisis de sensibilidad

En el análisis de sensibilidad se presentan los escenarios bajo los cuales se puede desarrollar el proyecto presentando cambios en las variables más susceptibles a tener variaciones importantes con respecto a las presentadas en las estimaciones de este proyecto. Dado que las estimaciones pueden variar una vez que el proyecto se ejecute, el análisis de sensibilidad es esencial para identificar la elasticidad en su rentabilidad social y tener referencias de cuando esto puede comenzar a ser una alerta. En este análisis se consideraron diferentes porcentajes en el aumento y disminuciones en tres variables principalmente: monto de inversión, costos de operación y mantenimiento, y beneficios. Los efectos de estos cambios se miden sobre los indicadores de rentabilidad del proyecto de inversión: el VPN y la TIR.

El primer escenario corresponde a los posibles cambios en el monto de inversión considerando variaciones en la inversión inicial que corresponde a 1,220.6 mdp. Con base en ello se encontró que el proyecto de Chihuahua deja de ser socialmente rentable cuando el monto de inversión se ve incrementado en **181%**, es decir que es en este punto cuando la tasa interna de retorno es igual a la tasa social de descuento y el VPN es cero. Un incremento mayor llevará a una TIR menor que la tasa social de descuento y los costos superarán los beneficios, haciéndolo socioeconómicamente no viable.

Tabla 37 Sensibilidad Monto de Inversión

| Variación | Inversión     | VPN                | TIR    |
|-----------|---------------|--------------------|--------|
| -40.00%   | \$732,387,270 | \$2,129,409,018.68 | 34.51% |

| Variación | Inversión       | VPN                | TIR    |
|-----------|-----------------|--------------------|--------|
| -15.00%   | \$1,037,548,633 | \$1,888,798,490.31 | 26.46% |
| 0.00%     | \$1,220,645,451 | \$1,744,432,173.29 | 23.31% |
| 30.00%    | \$1,586,839,086 | \$1,455,699,539.25 | 18.96% |
| 55.00%    | \$1,892,000,449 | \$1,215,089,010.88 | 16.47% |
| 181.25%   | \$3,433,072,653 | \$68.93            | 10.00% |

Por otro lado, en el análisis de los escenarios donde los costos de operación y mantenimiento incrementan y disminuyen, se identificó que dichos costos pueden incrementar su valor hasta un **114%**, que es el punto de inflexión, donde el VPN es igual a cero y la TIR igual a la tasa social de descuento.

Tabla 38 Sensibilidad Costos de Mantenimiento y Operación

| Variación      | Costo Anual de Operación y Mantenimiento (promedio) | VPN                | TIR           |
|----------------|-----------------------------------------------------|--------------------|---------------|
| -30.00%        | \$109,384,711                                       | \$2,273,731,246.44 | 28.85%        |
| -20.00%        | \$125,011,099                                       | \$1,986,752,719.15 | 24.79%        |
| -10.00%        | \$140,637,486                                       | \$1,838,920,677.94 | 23.51%        |
| 0.00%          | \$156,263,873                                       | \$1,691,088,636.73 | 22.25%        |
| 20.00%         | \$187,516,648                                       | \$1,395,424,554.32 | 19.84%        |
| 50.00%         | \$234,395,810                                       | \$951,928,430.70   | 16.45%        |
| <b>114.39%</b> | <b>\$335,018,025</b>                                | <b>\$959.36</b>    | <b>10.00%</b> |

Finalmente, los precios de mercado para los materiales reciclables podrían variar, podría haber cambios en las cantidades demandadas por el mercado y resultar en menores ventas. De igual forma, los bonos de carbono dependen del precio de mercado y el tipo de cambio o incluso del mercado de compensaciones donde se realice la transacción. Por ello, la siguiente proyección en cambios en los beneficios del proyecto es de gran importancia. Se realizó un análisis de sensibilidad para el cambio de los beneficios totales. El análisis de sensibilidad indica que los beneficios podrían tener una variación negativa (disminuir) de hasta un **38.1%** para alcanzar una TIR del 10%, o lo que es igual, para que el VPN sea igual a cero.

Tabla 39 Sensibilidad Beneficios

| Variación      | Beneficios Anuales (promedio) | VPN                  | TIR          |
|----------------|-------------------------------|----------------------|--------------|
| <b>-38.10%</b> | <b>\$295,580,277</b>          | <b>-\$194,995.95</b> | <b>10.0%</b> |
| -30.00%        | <b>\$334,269,595</b>          | \$359,439,143.78     | 12.7%        |
| -25.00%        | <b>\$358,145,995</b>          | \$581,380,725.94     | 14.3%        |
| 5.00%          | <b>\$501,404,393</b>          | \$1,913,030,218.89   | 23.8%        |
| 10.00%         | <b>\$525,280,792</b>          | \$2,134,971,801.05   | 25.4%        |

Análisis de Riesgos

Tabla 40 Análisis de Riesgos

| Inversión                        | Riesgo                                         | Medidas de Mitigación                                                                                                                  |
|----------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inversión en Infraestructura     | Sobrecostos                                    | Se deberá de ajustar a los montos previstos en el presupuesto                                                                          |
|                                  | Retrasos                                       | Se trabajará con un cronograma de obra, y este se ajustará para cumplir con las fechas de entrega de proyecto                          |
|                                  | Interferencia parcial o total de los servicios | Se deberá de contar con seguros por responsabilidad civil y daños a terceros                                                           |
|                                  | Afectaciones por el clima                      | El proyecto deberá contemplar un cronograma con acciones correctivas para sobreponerse a retrasos.                                     |
| Inversión en Equipo              | Elección de equipo inadecuado                  | Se cotiza el equipo más reciente y en mejores condiciones, ideal para el tratamiento y manejo de residuos                              |
|                                  | Mala Operación de los equipos                  | Se deberá de contar con personal capacitado e implementar programas de capacitación continuos                                          |
|                                  | Riesgo en la rotación del Recurso Humano       | Se manejarán bonos de productividad para motivar a los trabajadores                                                                    |
|                                  | Riesgo en la rotación del Recurso Humano       | Se trabajará en un ambiente laboral sano                                                                                               |
| Inversión en Básculas            | Pesos erróneos al paso del tiempo              | Se considera manejar un programa de calibración y verificación que brinde seguridad del pesaje correcto para la empresa y los clientes |
| Inversión en Clausuras de Celdas | Retrasos y Sobrecostos                         | Se deberá de ajustar a los montos previstos en el presupuesto                                                                          |
|                                  | Retrasos y Sobrecostos                         | Se deberá de contar con una supervisión que verifique la buena ejecución del Proyecto                                                  |
|                                  | Posesión y Permisos                            | Se deberá de contar con una lista detallada de los permisos y licencias requeridos, así como el responsable de obtener los mismos.     |
|                                  | Posesión y Permisos                            | Los terrenos cuentan con uso de suelo, para disposición final de residuos                                                              |

## 6. Conclusiones

Conforme a lo que se ha visto en los apartados anteriores, el Proyecto de Gestión Integral de Residuos para el Municipio de Chihuahua, ayudará al Municipio a ser más eficiente en la transferencia, separación y valorización de los Residuos.

Adicionalmente, al disminuir la cantidad de materia orgánica confinada se disminuye la propagación de gases efecto invernadero, lo cual incrementa el impacto positivo del Proyecto al ambiente, así mismo al promover el reciclaje se impulsa la economía circular haciendo de éste un Proyecto sostenible y sustentable en el tiempo.

Por otra parte, con base en los resultados de la evaluación socioeconómica de este proyecto podemos ver que los beneficios esperados del mismo sobre pasan los costos de inversión, de operación y de mantenimiento del mismo, lo cual demuestra la rentabilidad socioeconómica del mismo.

Tabla 41 Conclusiones. Indicadores de Rentabilidad

| Indicadores de Rentabilidad |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| VPN                         | \$1,691,088,637 |
| TIR                         | 22.25%          |
| TRI                         | 22.20%          |

**Fuente:** Elaboración Propia

Por tanto, se considera un proyecto rentable y viable de llevarse a cabo.