



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA  
UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO  
CON APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS  
PRODUCIDO EN EL MUNICIPIO SAN  
DIEGO, ESTADO CARABOBO**

**Autor:**

Kouefati kassabji, Elías Gabriel

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO  
CON APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS PRODUCIDO EN EL MUNICIPIO SAN  
DIEGO, ESTADO CARABOBO**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
**INGENIERO CIVIL**

**Autor:**

Kouefati kassabji, Elías Gabriel

C.I: V-27.536.883

**Tutor:**

MSc. Ing. Jutzy Herrada

C.I: 12.809.606

San Diego, octubre de 2023



**ACTA DE APROBACIÓN**

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Estudio de Factibilidad Para La Ubicación de un Relleno Sanitario con Aprovechamiento del Biogas Producido municipio San Diego, estado Carabobo

Realizado por el (la) Br. Elias Kerefat

C.I. N° 27536883 cursante de la carrera de Ingeniería civil

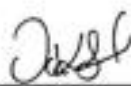
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:


APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

  
Tutor Académico (Coordinador)  
Nombre: Luis Hernández  
C.I.: 12809606

  
Jurado  
Nombre: Jorge Lujica  
C.I.: 12.033474

  
Jurado  
Nombre: ANBA SPANABEN  
C.I.: 10176250

Fecha: 14/11/2023



## CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL DECANO



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA

FI L. 003 2023-1CR TG

Valencia, 04 de agosto de 2023

Ciudadano:  
KOUFATI KASSABJI, ELIAS GABRIEL  
27.536.883  
Presente.

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 10-2023 de fecha 15/06/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

**Estudio de factibilidad para la ubicación de un relleno sanitario con aprovechamiento del biogás producido en el municipio San Diego, estado Carabobo.**

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:  
Ing. Jutzy Mary Herrada Palma, titular de la cédula de identidad V-12.809.606

Atentamente



  
**Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia**  
Decana de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

## **DEDICATORIA**

Le dedico este trabajo realizado a mis padres, Jorge y Janet, que estuvieron a mi lado desde los momentos más bonitos hasta los más difíciles, además, que me dieron todo lo que necesité, a mis hermanas, Katherine y Sonia, cuya paciencia fue puesta a prueba en incontables ocasiones, a Valentina, mi novia, por la compañía más noble y sincera que tuve durante el proceso de este trabajo de grado, y por supuesto, a Dios, por ponerlos en mi camino.

Kouefati, Elías

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a los miembros de la comunidad de la Universidad Jose Antonio Páez por su colaboración e interés en este trabajo. En segundo lugar agradezco a las cooperativas, organizaciones y autoridades que me dieron su tiempo y su cooperación para ayudarme en mi investigación. Finalmente, el apoyo, el regaño y los consejos de Jutzy Herrada, mi tutora, fueron fundamentales para la elaboración del trabajo.

Kouefati, Elías

## ÍNDICE GENERAL

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CONTENIDO</b> .....                              | <b>Pp</b> |
| DEDICATORIA .....                                   | v         |
| AGRADECIMIENTOS .....                               | vi        |
| ÍNDICE GENERAL.....                                 | vii       |
| LISTA DE FIGURAS .....                              | ix        |
| LISTA DE TABLAS.....                                | x         |
| LISTA DE CUADROS .....                              | xi        |
| RESUMEN.....  | xii       |
| INTRODUCCIÓN .....                                  | 1         |
| <b>CAPÍTULO</b>                                     |           |
| <b>I EL PROBLEMA</b> .....                          | <b>4</b>  |
| 1.1. Planteamiento del problema.....                | 4         |
| 1.2. Formulación del problema .....                 | 6         |
| 1.3. Objetivos de la investigación.....             | 7         |
| 1.3.1. Objetivo general .....                       | 7         |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....                   | 7         |
| 1.4. Justificación .....                            | 7         |
| 1.5. Alcance y limitaciones .....                   | 8         |
| <b>II MARCO TEÓRICO</b> .....                       | <b>9</b>  |
| 2.1. Antecedentes de la investigación.....          | 9         |
| 2.2. Bases teóricas .....                           | 12        |
| 2.2.1. Estudio de Factibilidad .....                | 12        |
| 2.2.2. Residuos sólidos .....                       | 12        |
| 2.2.2.1. Clasificación de los residuos sólidos..... | 13        |
| 2.2.2.2. Disposición final de los residuos sólidos  | 13        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.3. Relleno sanitario (RSAN).....  | 13        |
| 2.2.4. Ubicación de un relleno sanitario .....  | 14        |
| 2.2.5. Consideraciones generales para seleccionar un sitio de un RSAN .....                                   | 14        |
| 2.2.5.1.Aspectos ambientales .....  | 14        |
| 2.2.5.2.Aspectos sociales.....  | 14        |
| 2.2.5.3.Aspectos técnicos .....   | 14        |
| 2.2.6. Criterios para la ubicación de un relleno sanitario .....  | 15        |
| 2.2.7. Aprovechamiento del Biogás producido en un relleno sanitario.....                                      | 15        |
| 2.2.7.1.Ruta bioquímica del Biogás.....   | 15        |
| 2.2.7.2.Proceso de purificación del Biogás .....  | 16        |
| 2.2.7.3.Producción energética a través de biogás .....  | 17        |
| 2.2.7.4. Estimación de la generación del biogás producido en relleno por medio del<br>proceso anaeróbico..... | 18        |
| 2.2.7.5. Emisiones de biogás fugitivas y capturadas producidas en relleno sanitario.                          | 19        |
| 2.3. Bases legales .....  | 22        |
| 2.4. Definición de términos básicos .....   | 27        |
| <b>III MARCO METODOLÓGICO .....</b>   | <b>28</b> |
| 3.1 Tipo de Investigación.....  | 28        |
| 3.2 Diseño de la Investigación .....  | 28        |
| 3.3 Nivel de la Investigación.....  | 29        |
| 3.4 Población y Muestra.....  | 29        |
| 3.4.1. Población .....  | 29        |
| 3.4.2. Muestra .....  | 29        |
| 3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....   | 30        |
| 3.5.1 Técnicas .....  | 30        |

|  |    |
|--|----|
| 3.5.2 Instrumentos .....   | 30 |
| 3.6 Técnicas de Análisis de Datos .....  | 30 |
| 3.7 Fases Metodológicas .....  | 31 |
| IV ANÁLISIS DE RESULTADOS .....  | 34 |
| 4.1. Fase I. Diagnóstico de la situación actual del terreno donde se ubicará el relleno sanitario en el municipio San Diego, estado Carabobo .....                           | 34 |
| 4.2. Fase II. Análisis del lugar establecido en el PDUL para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, generados en el municipio San Diego, estado Carabobo..... | 37 |
| 4.3. Fase III. Evaluación de los requerimientos técnicos, ambientales, económicos y sociales del sitio para la ubicación de un relleno sanitario. ....                       | 49 |
| 4.4. Fase IV. Instauración de los lineamientos para el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario como energía eléctrica alternativa.....                   | 50 |
| V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 51 |
| 5.1. Conclusiones .....  | 51 |
| 5.2. Recomendaciones.....  | 52 |
| REFERENCIAS.....   | 53 |

## LISTA DE FIGURAS

| <b>FIGURA</b>   | <b>Pp</b> |
|---|-----------|
| 1. PDUL municipio San Diego.....  | 5         |
| 2. Propuesta de zona para ubicación de un relleno sanitario.....                      | 6         |
| 3. Leyenda del PDUL municipio San Diego .....   | 6         |
| 4. El estudio de factibilidad permite conocer .....                                   | 12        |
| 5. Clasificación de los residuos sólidos.....   | 13        |
| 6. Ruta bioquímica del Biogás .....   | 16        |
| 7. Tratamiento y aprovechamiento del biogás.....                                      | 18        |
| 8. Diagrama para aprovechamiento de biogás para generación de energía eléctrica ..... | 21        |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 9.  | Ubicación del sector en estudio.....                           | 35 |
| 10. | Área en estudio para localización de relleno sanitario .....   | 35 |
| 11. | Distancia a recurso hídrico .....                              | 37 |
| 12. | Distancia a área protegida .....                               | 38 |
| 13. | Uso de suelo .....   | 39 |
| 14. | Suelos de vocación agrícola .....                              | 39 |
| 15. | El clima en San Diego .....                                    | 40 |
| 16. | Áreas residenciales .....                                      | 41 |
| 17. | Distancia a áreas residenciales .....                          | 41 |
| 18. | Distancia a centros de educación.....                          | 42 |
| 19. | Vía de acceso.....   | 43 |
| 20. | Distancia a vías de acceso .....                               | 43 |
| 21. | Distancia a material de cobertura .....                        | 44 |
| 22. | Pendiente del sitio para ubicación del relleno sanitario ..... | 45 |
| 23. | Histórico de temperatura del municipio San Diego .....         | 47 |

## LISTA DE TABLAS

| <b>TABLA</b>   | <b>Pp</b> |
|--|-----------|
| 1. Variables elegidas como criterio de selección para variantes de sitio ..... | 24        |
| 2. Criterios y subcriterios de clasificación .....                             | 25        |
| 3. Escala de ponderación para el puntaje de las variables.....                 | 27        |
| 4. Matriz FODA .....   | 36        |
| 5. Distancia a recursos hídricos (m) .....                                     | 38        |
| 6. Distancia a áreas protegidas .....  | 39        |
| 7. Uso de suelo .....  | 40        |
| 8. Precipitación.....  | 41        |
| 9. Distancia a áreas residenciales .....                                       | 42        |
| 10. Distancia a centros de educación.....                                      | 43        |
| 11. Distancia a vías de acceso .....   | 44        |
| 12. Distancia a material de cobertura .....                                    | 45        |
| 13. Pendiente .....  | 46        |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 14. | Tipo de suelo .....                                  | 46 |
| 15. | Temperatura.....                                     | 47 |
| 16. | Distancia a servicios básicos .....                  | 47 |
| 17. | Disponibilidad de material de cobertura .....        | 48 |
| 18. | Ponderación de criterios .....                       | 48 |
| 19. | Factores condicionantes del proyecto.....            | 49 |
| 20. | Representación % por tipo de residuo o desecho ..... | 50 |

### **LISTA DE CUADROS**

| <b>CUADRO</b>                              | <b>Pp.</b> |
|--|------------|
| Cuadro 1. Cuadro Técnico Metodológico..... | 33         |



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO  
CON APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS PRODUCIDO EN EL MUNICIPIO SAN  
DIEGO, ESTADO CARABOBO**

**Autor:** Kouefati K, Elías G  
**Tutora:** Prof. Jutzy Herrada  
**Fecha:** Octubre 2023

**RESUMEN**

En Venezuela, la disposición final de los desechos y residuos se ha convertido en una de las problemáticas ambientales con mayor relevancia, principalmente asociados a los hábitos de consumo de las poblaciones. Frente a esta temática, el municipio San Diego requiere actualmente de un Relleno Sanitario (RSAN) el cual permita la correcta gestión de los desechos, para esto el presente estudio evaluará, a través de multicriterios ambientales, la zona establecida en el PDUL del mencionado municipio con el fin de validar si cumple con los parámetros establecidos en el decreto 230. Igualmente, se realizará una propuesta para el aprovechamiento del biogás producido en el RSAN con el propósito de minimizar el impacto ambiental que se podría ocasionar en el componente aire, en las adyacencias del relleno. La metodología a emplear será de tipo proyecto factible, con diseño de investigación de campo y documental con nivel descriptivo, la población estará conformada por la superficie geográfica del municipio San Diego y la muestra por el sitio señalado por la Alcaldía del municipio San Diego, a este se le aplicarán 13 criterios de clasificación a fin de saber si cumple con los requerimientos de la legislación vigente, se emplearán como técnicas de recolección de datos la observación directa, el análisis documental y la entrevista, como instrumentos: los correspondientes al análisis documental, una matriz DOFA, un diagrama de Ishikawa y una lista de cotejo que será validada por tres expertos. Las fases de la investigación serán: Diagnóstico, análisis el lugar de disposición final de los residuos sólidos, apoyado los criterios de clasificación, evaluación de los requerimientos técnicos, ambientales, económicos y sociales del emplazamiento señalado en el PDUL y la propuesta de lineamientos para el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario como fuente de energía eléctrica alternativa.

**Palabras claves:** Relleno Sanitario, residuos no peligrosos, criterios de clasificación.

## INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos (RS) es un producto directo de la urbanización, el desarrollo económico y el crecimiento de la población, pues a medida que las naciones y las ciudades se vuelven más pobladas y prósperas, se enfrentan a la masiva producción de RS (Rodríguez & Baca, 2021). Para el 2016, en el mundo se generaron aproximadamente 2.010 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos, mientras que para 2050, se espera que los niveles se tripliquen obteniendo un aumento de 3.40 mil millones de toneladas de desechos al año en zonas urbanizadas (bancomundial, 2018).

Cabe mencionar, que en muchos países la disposición final de residuos se traduce en la eliminación en vertederos, sin tratamiento o por recogida selectiva de fracciones de residuos sólidos, incluidos plásticos, papel, vidrio, metales, residuos electrónicos y fracción orgánica que conduce al problema no resuelto de la contaminación de numerosos ecosistemas (Gredilla, 2020).

Frente a esto, se ha optado como una alternativa el Relleno Sanitario (RSAN) con el fin de mejorar el manejo, gestión y tratamiento de estos residuos. Estos son áreas que han sido seleccionadas para albergar a los desechos generados (bancomundial, 2018). Estas zonas pueden ser depresiones de índole natural o artificial, las cuales han sido previamente estudiadas de manera técnica para que los desechos puedan ser compactados, enterrados y cubiertos, minimizando su volumen (saber, 2018). Por lo cual, conocer el área y la superficie del relleno permite controlar y evaluar los riesgos de impactos a largo plazo para la prevención de resultados negativos (cepal, 2018). Adicionalmente indica que, los rellenos sanitarios tienen un papel importante que desempeñar como parte de la transición necesaria para lograr la recuperación de recursos y la gestión de residuos sostenibles aceptando aquellos desechos que no se pueden "evitar, reducir, reutilizar, reciclar o recuperar (cepal, 2018).

La investigación presentada a continuación está dividida en IV capítulos: Capítulo I. El Problema, está conformado por el planteamiento del problema, objetivo general y objetivos específicos, justificación de la investigación, alcance y limitaciones. El Capítulo II. Marco Teórico, está constituido por los antecedentes de la investigación, las bases teóricas que permite analizar los conceptos más importantes en el trabajo de grado para así obtener mayor claridad acerca de los conocimientos necesarios para realizar el estudio de factibilidad, las bases legales y la definición de términos.

En el Capítulo III. Marco Metodológico, se definen los elementos metodológicos que permitieron desarrollar las distintas etapas e implicaciones para la ejecución de la investigación, a fin de tratar en forma correcta los criterios sobre parámetros territoriales seleccionados. Se indica el tipo y diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y la descripción de cada una de las fases del estudio. El capítulo IV. Análisis de Resultados, en este se muestra el logro de los objetivos de las distintas fases de la investigación, finalmente se presenta el Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1.Planteamiento del problema

El crecimiento demográfico y el desplazamiento a las zonas urbanas están relacionados con el aumento de la generación de residuos per cápita (cepal, 2016). La rápida urbanización y el crecimiento de la población crean centros de población más grandes, lo que dificulta cada vez más la recolección de todos los desechos y la obtención de tierras para su tratamiento y eliminación (Vaca, 2020).

La gestión de residuos puede ser la partida presupuestaria más alta para muchas administraciones locales en países de bajos ingresos, donde comprende casi el 20% de los presupuestos municipales (cepal, 2016). El manejo de residuos suele ser administrada por autoridades locales con recursos limitados y capacidad limitada para la planificación, contratación, gestión y seguimiento operativo. Estos factores hacen que la gestión sostenible de residuos sea una propuesta complicada en el camino del desarrollo económico, y la mayoría de los países de ingresos bajos y medianos y sus ciudades luchan por abordar estos desafíos (Vaca, 2020).

Los impactos de la mala gestión de los desechos son nefastos y recaen de manera desproporcionada sobre los sectores pobres, que a menudo no reciben servicio o tienen poca influencia en los desechos que se eliminan de manera formal o informal cerca de sus hogares (cepal, 2016). Con el mal manejo del RSAN, éste podría convertirse en una fuente principal de emisión de gases de efecto invernadero, óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>) así como el principal contaminante de fuentes de agua debido a la lixiviación, las emisiones de estos gases pueden causar olores, impactar a las comunidades circundantes, causar desgaste o daño a los componentes de recolección o contribuir a la formación de condiciones explosivas (unep, 2021), es por ello que su aprovechamiento como energía alternativa ha tomado relevancia en los últimos años.

En Venezuela se presenta un manejo inadecuado de sus desechos con insuficientes criterios técnicos, en sitios de disposición final parcialmente controlados. Bajo este contexto, el Gobierno Central a través de su Ministerio del Ambiente en el año 2010 y posterior aprobación de la asamblea nacional, elabora la Ley de la Gestión Integral de la basura.

La presente Ley establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura (asambleanacional, 2023); con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos e impulsando la conservación de los ecosistemas; a través de estrategias, planes y actividades de capacitación, sensibilización y estímulo a los diferentes actores relacionados

Una de las problemáticas que tienen los municipios del estado Carabobo, hoy por hoy, es la distancia desde donde se generan los residuos y la ubicación al sitio de disposición final, de allí, la importancia de contar con rellenos sanitarios para un adecuado manejo de los mismos. En este contexto, el país ha sido testigo de la rápida industrialización y la explosión demográfica lo cual ha provocado la generación de miles de toneladas de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) diariamente.

Actualmente, no existe un botadero en el área de estudio, la disposición final de los RSU se está realizando en el relleno sanitario “La Guásima” a fin de evitar los impactos ambientales negativos, frente a esto, la Alcaldía del municipio San Diego ha considerado la construcción de un RSAN que de acuerdo a lo establecido en el PDUL estará ubicado en la zona denominada Mozanga, como se muestra en las figuras 1, 2 y 3. (alcaldíadesandiego, 2023). Asimismo, se ha contemplado la necesidad de aprovechamiento del biogás que se generaría por la digestión anaerobia de los residuos sólidos orgánicos, como fuente de energía eléctrica alternativa que podría ser utilizada en el manejo del relleno sanitario.

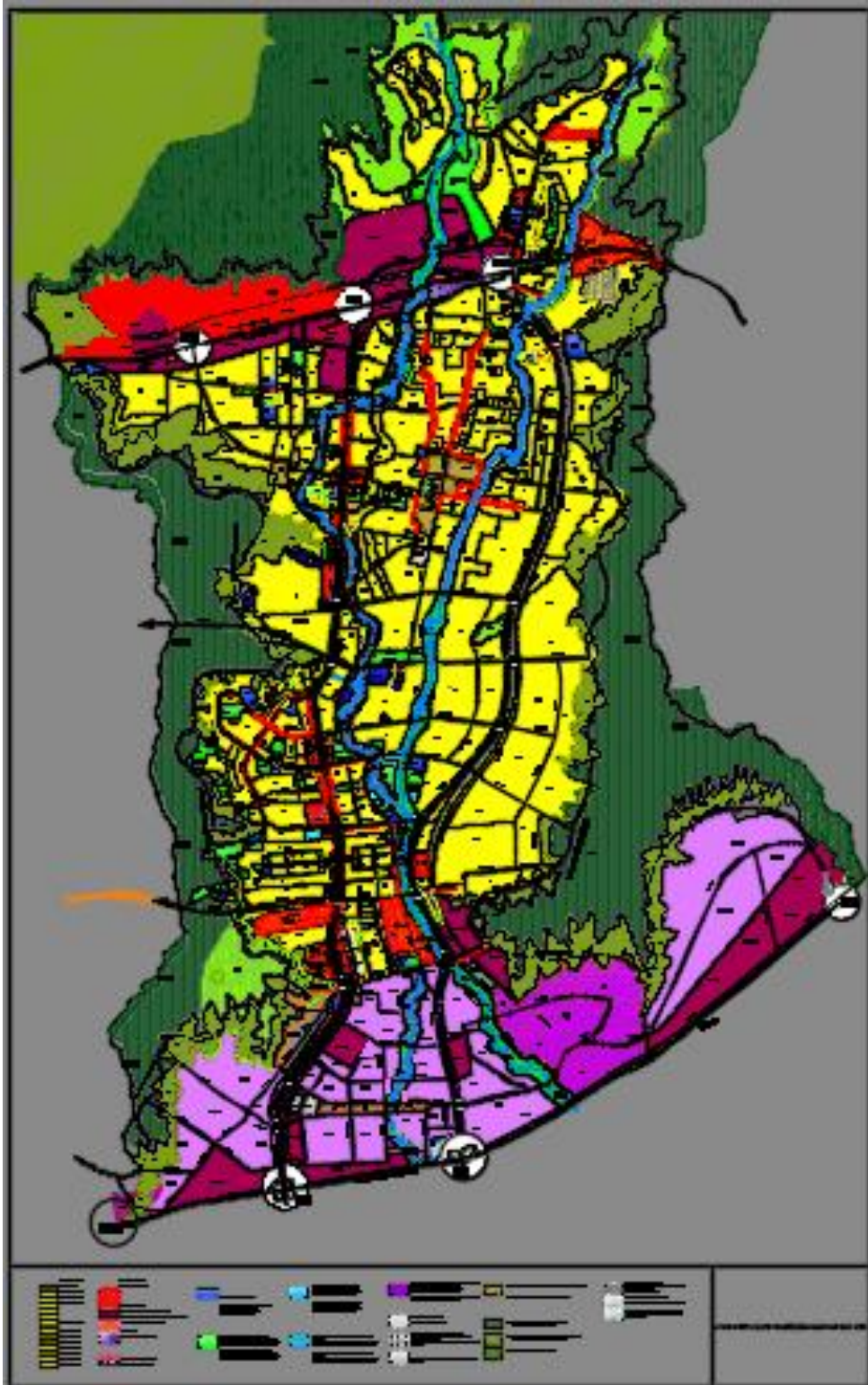


Figura 1. PDUL municipio San Diego

Fuente: alcaldíadesandiego (2023)

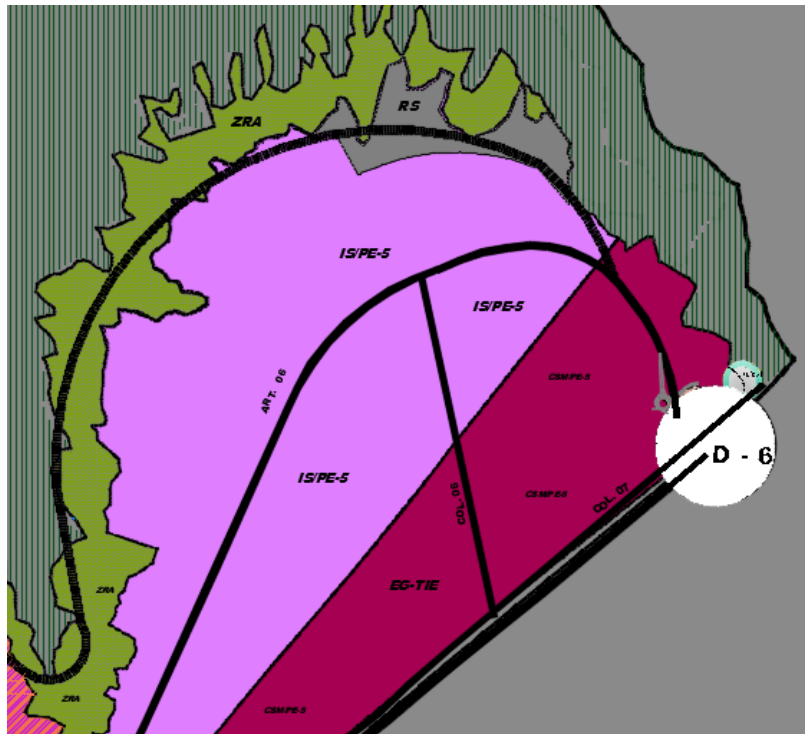


Figura 2. Propuesta de zona para ubicación de un relleno sanitario

Fuente: alcaldíadesandiego (2023)

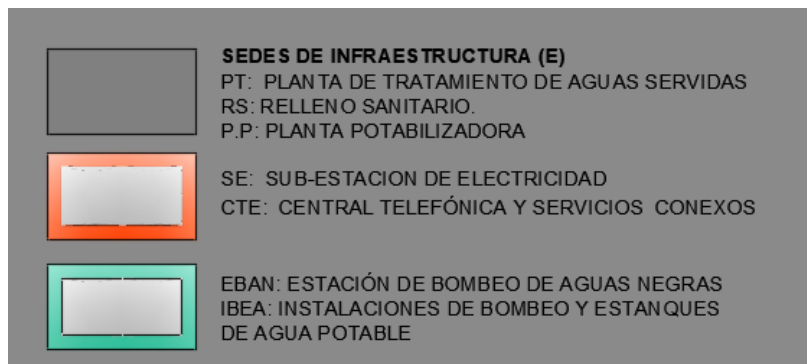


Figura 3. Leyenda del PDUL municipio San Diego

Fuente: alcaldíadesandiego (2023)

## 1.2. Formulación del problema

¿De qué manera se pueden disponer y aprovechar los residuos sólidos urbanos generados en el municipio San Diego del estado Carabobo?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar el estudio de factibilidad para la ubicación de un relleno sanitario con aprovechamiento del biogás producido. Municipio San Diego, estado Carabobo.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Diagnosticar la situación actual del terreno donde se ubicará el relleno sanitario en el municipio San Diego, estado Carabobo
2. Analizar el lugar establecido en el PDUL para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, generados en el municipio San Diego, estado Carabobo
3. Evaluar los requerimientos técnicos, ambientales, económicos y sociales del sitio para la ubicación de un relleno sanitario.
4. Establecer los lineamientos para el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario como energía eléctrica alternativa.

### **1.4. Justificación**

El presente estudio tiene como propósito validar desde el punto de vista ambiental los sitios de disposición final de residuos sólidos en el municipio San Diego del estado Carabobo considerando criterios que tengan un impacto ambiental y sean apropiados para el área de estudio, Adicionalmente, es de vital importancia adoptar enfoques de precaución para abordar adecuadamente los riesgos ambientales de las instalaciones del RSAN, reconociendo que la composición orgánica o inorgánica de los residuos cambia a través del tiempo y son dependientes de los hábitos de consumo de la población.

Desde el punto de vista social se debe tener en cuenta que para la implementación de rellenos sanitarios es imprescindible que estos sean ubicados eficientemente, ya que pueden generar inconvenientes a las comunidades cercanas y al entorno ambiental a fin de cumplir con los estándares ambientales, socioeconómicos y de salud de las personas que habiten en sus adyacencias.

Con respecto al aporte académico, se pone a la disposición de los estudiantes de ingeniería civil herramientas técnicas para el desarrollo de los objetivos propuestos, además de aportar información sobre la generación de residuos sólidos urbanos en el área de estudio y una forma de aprovechamiento energético del biogás generado en un relleno sanitario.

Y en lo referente al punto de vista técnico, se buscó mantener una metodología simple para que los tomadores de decisiones puedan adoptarla fácilmente considerando los aspectos regulatorios asociados a la gestión de RS establecidos en el país como la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, la Ley Orgánica del Ambiente y la Ley de Gestión de la Basura. Por lo tanto, este estudio es relevante ya que examina la aplicabilidad de una visión multicriterio para analizar la idoneidad de la ubicación de los rellenos sanitarios proporcionando un enfoque organizado con el fin de evaluar el impacto de varios factores que pueden servir como indicadores en la selección de los sitios para la ubicación de los rellenos sanitarios.

### **1.5. Alcance y limitaciones**

La investigación realizada está ubicada en el municipio San Diego, estado Carabobo, incluyó el análisis de 13 criterios de clasificación para la ubicación de rellenos sanitarios, tales como: distancia a recursos hídricos, distancia a áreas protegidas, uso de suelo, precipitación, distancia a áreas residenciales, distancia a centros de educación, distancia a vías de acceso, distancia a material de cobertura, pendientes, tipo de suelo, temperatura, distancia a servicios básicos, disponibilidad de material de cobertura. En cuanto al aprovechamiento del biogás generado solo se contempló desde un enfoque teórico, como energía alternativa de la energía eléctrica. No incluye el diseño del relleno sanitario. Respecto a la delimitación temporal, el estudio fue realizado con base en la población del último censo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Tamayo (2012) define los antecedentes como el proceso que "consiste en el análisis de investigaciones iguales o similares relacionadas en nuestro campo de estudio" (p.99)

##### **Internacionales**

Cruz (2022) en estudio realizado **Diseño de un relleno sanitario con captura de biogás para el aprovechamiento de los residuos sólidos municipales en el distrito la coipa – Cajamarca** para optar al título de Ingeniero Industrial en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, el objetivo general fue Proponer el aprovechamiento de los residuos sólidos municipales en el Distrito La Coipa a través del diseño de un relleno sanitario con captura de biogás para la generación de energía para la comunidad. El tipo de investigación fue proyecto factible con nivel descriptivo, se utilizó una muestra probabilística a través de un muestreo aleatorio simple junto con el muestreo sistemático, lo que dio como resultado que el cuestionario se aplicaría a 83 personas, instrumento utilizado para la recolección de datos.

Para establecer la ubicación del relleno sanitario se implantaron 17 criterios de selección entre los que destacan: Distancia a la población más cercana, Uso actual del suelo y del área de influencia, Pendiente del terreno, Napa freática, Distancia a fuentes de aguas superficiales, entre otros y se estableció el Potencial de generación de gases de relleno sanitario, lo que permitió determinar que para el 2022 el Potencial disponible era de 3,94 (kW), lo que se traduce en 29 330,01 (kWh/año) de electricidad. La investigación sirvió de guía para formular la estructura a tener en cuenta en la presente propuesta, partiendo desde la realización de un diagnóstico sobre el manejo actual de los residuos sólidos hasta la selección del sitio de disposición final.

Asimismo, Pérez y Rodríguez (2021), en investigación titulada **Aprovechamiento de un sistema híbrido biogás – solar en la zona del relleno sanitario “El Carrasco” para la generación de energía eléctrica**, para optar al título de Ingeniero en energía en la Universidad Autónoma de Bucaramanga, tuvo como objetivo general: Realizar un estudio de generación eléctrica basado en energías renovables que tenga como entorno el terreno del relleno sanitario “El carrasco” y su potencial en producción de energía solar PV y biogás como subproducto de la

acumulación de biomasa disponible en dicho sitio final de disposición de residuos. La metodología empleada se basó en un tipo de campo y nivel descriptivo. La población y la muestra son iguales y están representadas por la cantidad de residuos generados en el sector en estudio.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se estableció que la energía inyectada a la red es de 41140 MWh./año, con una producción específica de 1371 kWh/kWp/año, con un índice de rendimiento del sistema fotovoltaico de 83.14% y una fracción solar de 47.03%. El aporte a la presente investigación fue el diseño del biodigestor para el aprovechamiento del biogás con energía alternativa.

Igualmente, Belalcázar (2019), realizó una investigación titulada: **Identificación de áreas óptimas para la localización de un relleno sanitario en las subregiones norte y oriente del Valle del Cauca**, su objetivo general es identificar las áreas óptimas en las subregiones Norte y Oriente del Valle del Cauca donde sea posible localizar un relleno sanitario. La metodología empleada consistió en una investigación con diseño no experimental y de campo, en cuanto a la población y muestra estuvo representada por los diferentes sitios considerados para la ubicación del relleno sanitario, a estos se le aplicó un análisis multicriterio para el soporte de decisión espacial y sus herramientas como el método de Proceso de Análisis Jerárquico, donde se tuvieron en cuenta las características físicas y sociales de la zona de estudio, la normativa colombiana y el enfoque del desarrollo sostenible. Una vez realizada la integración de los diferentes componentes que inciden en la decisión de localización del relleno, se decidió que el área que se encuentra en el municipio de Obando es la óptima. La metodología empleada para en cuanto a la jerarquización de los criterios seleccionados sirvió de aporte para la ubicación del relleno sanitario objeto del presente estudio.

### **Nacionales**

Albán (2022), en artículo de revista titulado: **Caracterización de residuos sólidos municipales y diseño de relleno sanitario**, el objetivo general de la investigación fue, realizar un estudio de caracterización de residuos sólidos municipales para el diseño de un relleno sanitario. El estudio consistió en un análisis documental de los residuos sólidos municipales, y de los diseños de relleno sanitario, así como de las disposiciones vigentes, por lo que el tipo de investigación es documental y el nivel de la misma es descriptiva. Los datos sobre generación per cápita fueron obtenidos de Instituto Nacional de Estadística (INE). Se consideró que el tamaño de la población y de la muestra era el mismo. Los resultados especificaron un relleno sanitario de tipo manual, con

metodología de trincheras o zanja, con un diseño para un período de diez años de vida útil, considerando un volumen total de 5692 m<sup>3</sup>, para lo cual se necesita de 11 zanjas de 9 m de ancho por 19.50 m de largo, en un terreno de cerca de 2467 m<sup>2</sup> equivalente a un cuarto de hectárea.

Debido a que la alcaldía del municipio San Diego estima que antes de entrar en rotación el relleno sanitario debería tener una extensión suficiente para la apertura de zanjas de 10 años, la metodología empleada en esta investigación sirvió de aporte para apoyar en la validación ambiental del sitio seleccionado.

Por su parte, Rodríguez (2022) en artículo científico titulado: **Crisis y gestión de desechos y residuos: un problema multi-dimensional**. El investigador señala: en Venezuela hay una grave problemática socioambiental relacionada con el mal manejo de los desechos y residuos. Según la organización no gubernamental Transparencia, un 80% de la basura que se genera en el país se mantiene a cielo abierto, se indica que, Los casos de Ciudad Guayana y Maracaibo son emblemáticos porque en esas localidades el asunto de la basura es un problema de gran magnitud y que se mantiene con el tiempo. La metodología empleada fue una investigación de campo de tipo descriptiva. La población contempló a los habitantes de las precitadas ciudades y se utilizó una muestra probabilística de tipo azar simple. Entre los resultados se obtuvo el costo de realizar la recolección de desechos sólidos y transportarlos al sitio de disposición final, lo que representa un aporte a la investigación para evaluar los requerimientos económicos del proyecto.

Por último, Rivera y Mendoza (2019) en artículo publicado: **Tratamientos aplicados y posible aprovechamiento de los residuos sólidos, Barrio La Amistad, Guanare, estado Portuguesa, Venezuela**. La investigación tuvo como objeto, identificar tratamientos de los residuos sólidos (RS) consonos con el bienestar de los habitantes del Barrio La Amistad, municipio Guanare, estado Portuguesa, Venezuela. Para ello, se empleó un enfoque cuantitativo y descriptivo, a través de la encuesta (cuestionario), la observación directa (lista de chequeo), y procedimientos de caracterización. El estudio se realizó en una muestra de 38 viviendas (fuente residencial), 6 comercios y 4 industrias. Los datos fueron analizados con el uso de la estadística descriptiva, para luego en un taller participativo conformar una matriz FODA, cuya jerarquización permitió identificar estrategias de mayor prioridad. Algunos resultados fueron: 71, 67 y 34% de los encuestados a nivel residencial, comercial e industrial, respectivamente, reúsan RS como medida ahorrativa que no trasciende a ser rentable. En 65% de las viviendas visitadas se observó la quema de los residuos y desechos sólidos, y en 66% de todos los casos su disposición al aire

libre. Se encontró que más del 80% de los RS residenciales comerciales son comercializables localmente. El aporte a la presente investigación la metodología empleada para el aprovechamiento de los residuos sólidos.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Estudio de Factibilidad

Un estudio de factibilidad es “el que hace una empresa para determinar la posibilidad de poder desarrollar un negocio o un proyecto que espera implementar” (Quiroa, 2020). En esta investigación se refiere a la posibilidad de ubicar el relleno sanitario del municipio San Diego en el lugar señalado por el PDUL de ese municipio. (Ver figura 4)



Figura 4. El estudio de factibilidad permite conocer  
Fuente: Quiroa (2020)

### 2.2.2. Residuos sólidos

Se define como residuo sólido a cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido, que no presenta características de peligrosidad, resultantes del consumo o uso de un bien tanto en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no tiene valor para quien lo genera, pero que es susceptible de aprovechamiento y transformación en un nuevo bien con un valor económico agregado En Venezuela se define como: “Material remanente o sobrante de actividades humanas, que por sus características físicas, químicas y biológicas puede ser utilizado en otros procesos” (corpoelec, 2010). Ver figura 5.

### 2.2.2.1. Clasificación de los residuos sólidos

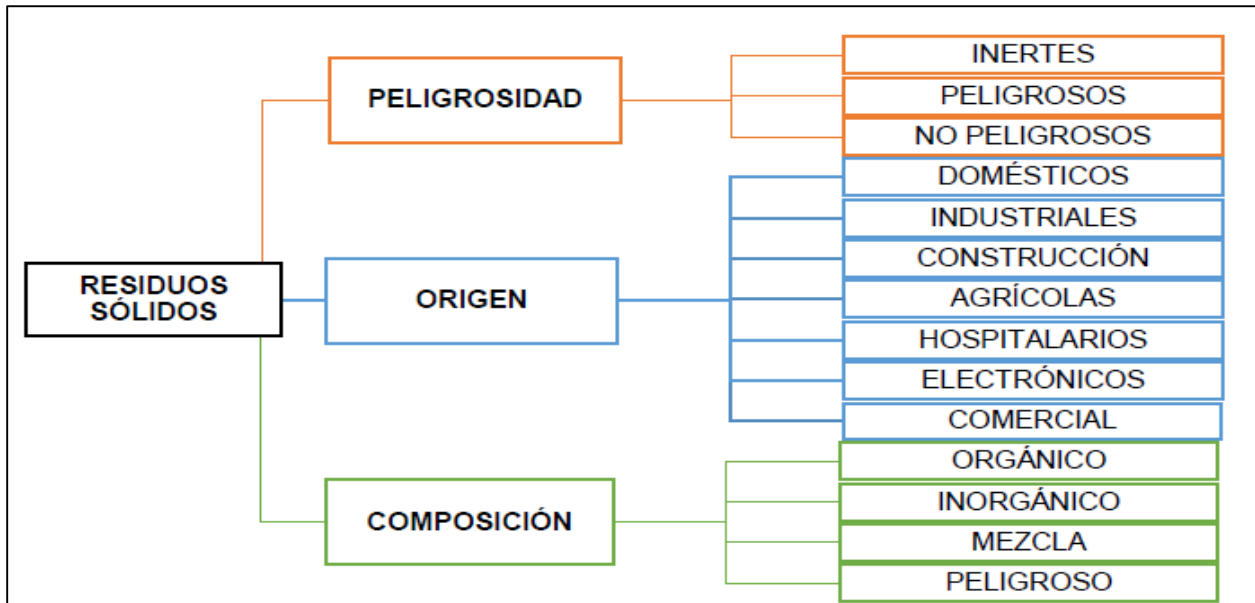


Figura 5. Clasificación de los residuos sólidos  
Fuente: Ortiz (2022)

### 2.2.2.2. Disposición final de los residuos sólidos

En la sección octava de la Ley de Gestión Integral de la Basura (LGIB), indica en el artículo 62 que:

La disposición final es la fase del manejo integral de los residuos y desechos que tiene por finalidad la eliminación o confinamiento en forma definitiva sanitaria y ambientalmente segura de los mismos. Todo desecho sólido, así como los residuos sólidos que no tengan aprovechamiento en el plazo que determine el reglamento o el plan municipal de manejo, en función de sus características, deben destinarse al sitio de disposición final que corresponda (corpoelec, 2010).

Y en el artículo 63, “La disposición final de los desechos sólidos no peligrosos **sólo** podrá realizarse en rellenos sanitarios” (corpoelec, 2010), de allí la importancia de la ubicación adecuada del sitio.

### 2.2.3. Relleno sanitario (RSAN)

De acuerdo a la definición de la Ley de gestión integral de la basura (LGIB), vigente, es la “obra de ingeniería destinada a la disposición final de desechos sólidos, que debe cumplir con las normas técnicas para su ubicación, diseño y operación” (corpoelec, 2010).

#### **2.2.4. Ubicación de un relleno sanitario**

En cuanto a la ubicación, la mencionada Ley de gestión integral de la basura establece que: “Todo municipio debe contar con un relleno sanitario para la disposición final de sus desechos sólidos, el cual podrá estar dentro o fuera de su jurisdicción, en forma mancomunada con otros municipios” (corpoelec, 2010).

#### **2.2.5. Consideraciones generales para seleccionar un sitio de un RSAN**

##### **2.2.5.1. Aspectos ambientales**

Los sitios seleccionados para ubicar un RSAN deben cumplir con principios básicos como el control de los líquidos y lixiviados generados por el proceso de descomposición de los RSU, así como de los gases producidos, sustancias que pueden generar daños a los mantos acuíferos y al ambiente. Así mismo, no deben generar grandes afectaciones a la conservación de la biodiversidad (ucr, 2018).

##### **2.2.5.2. Aspectos sociales**

Es trascendental tomar en cuenta las comunidades que se encuentran cerca de los rellenos sanitarios, porque pueden representar contaminación aérea y presencia de vectores que tendrían consecuencias irreparables en la salud de los pobladores. Entre los parámetros a tomar en cuenta se encuentra el perfil poblacional, en el cual se debe censar al total de la comunidad afectada. Se debe identificar la distribución, densidad y características de dicha población, comprender la estructura socioeconómica de estas comunidades, así como, el acceso a diversos servicios de salud. Así mismo, es necesario asignar un porcentaje de la sobretasa ambiental como mecanismo de compensación a las comunidades afectadas con el proyecto y afianzar proyectos de concientización social sobre los hábitos de consumo que reduzcan la producción de residuos sólidos (Camargo, 2019).

##### **2.2.5.3. Aspectos técnicos**

Los parámetros técnicos se realizan en función solucionar los problemas de ubicación de los rellenos sanitarios, tomando en cuenta la hidrología, pendientes, geología, acceso a vías, acceso a centros educativos, arraigados al sitio de estudio. Es por ello, que una adecuada disposición final de los desechos sólidos, está relacionado con un correcto y sostenible crecimiento del territorio, apoyado con los Planes de Ordenamiento Territorial (Ershad, 2020).

### **2.2.6. Criterios para la ubicación de un relleno sanitario**

Si se parte de que un relleno sanitario involucra los tres medios: suelo, aire y agua, es indispensable evaluar las características específicas de cada la zona donde se localice, además de factores técnicos, económicos, sociales y políticos.

Se establecieron 13 variables de campo (Tabla 1), siguiendo los parámetros nacionales e internacionales usados para la selección de sitios, entre los que destacan los criterios presentados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2012); los sugeridos por la Organización Panamericana de la Salud y los criterios ambientales recomendados por las Normas sanitarias para proyecto y operación de un relleno sanitario de la República Bolivariana de Venezuela (Decreto N° 230) sobre residuos sólidos de índole atóxico (slideshare, 2010).

Por otra parte, el biogás en un relleno sanitario se produce por la putrefacción de sustancias orgánicas en privación de oxígeno (proceso anaeróbico), generando componentes como CH<sub>4</sub> (50 %), CO<sub>2</sub> (40 %), N (5 %) y otros, considerados tóxicos y riesgosos para la salud pública, por ende, es considerada la segunda problemática medioambiental de mayor importancia y de contribución al efecto invernadero (Kundaria et al., (2021).

### **2.2.7. Aprovechamiento del Biogás producido en un relleno sanitario**

#### **2.2.7.1. Ruta bioquímica del Biogás**

El biogás, como su nombre indica, es un gas generado por la biodegradación de materia orgánica mediante la actividad de bacterias en un espacio carente de oxígeno, este es denominado un ambiente anaeróbico, algunos de sus compuestos son el Metano y el dióxido de carbono. Las principales fuentes son las actividades de generación de RSU, estiércol y heces, actividad agrícola, tratamiento de aguas servida, etc. (Kundariya et al., (2021).

La ruta bioquímica está desarrollada mediante cuatro (4) fases; Hidrólisis, Fermentación, Acetogénesis y Metanogénesis, ver figura 6.

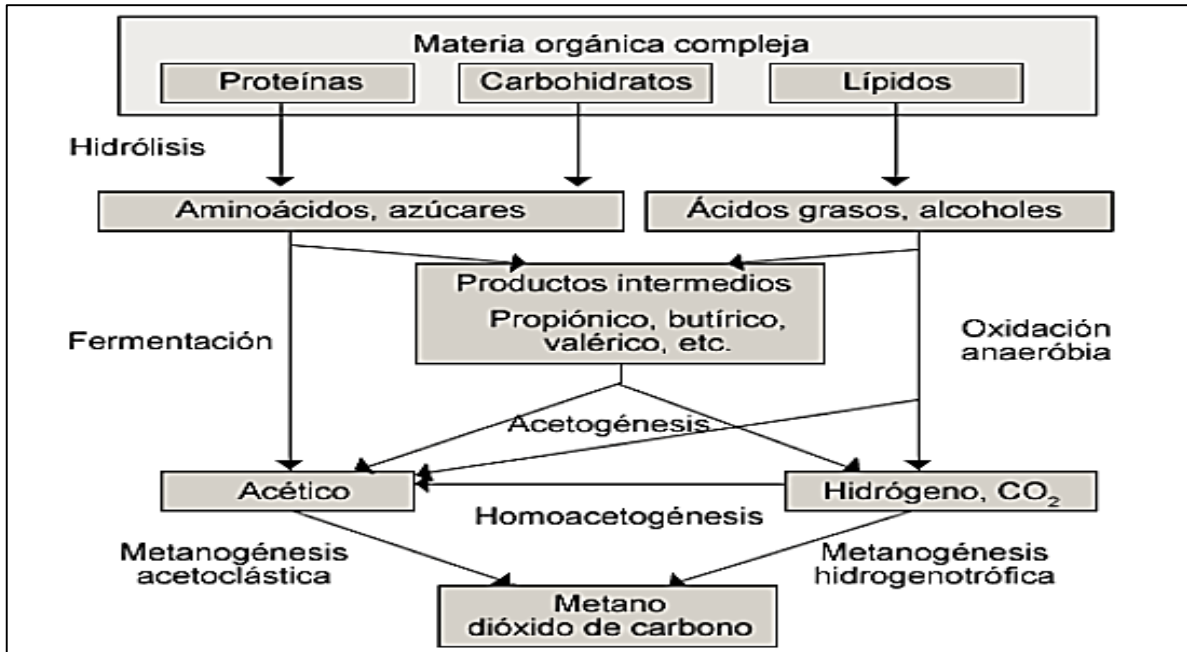


Figura 6. Ruta bioquímica del Biogás  
Fuente: (Ortiz, 2022)

#### 2.2.7.2. Proceso de purificación del Biogás

Se entiende del proceso de purificación de Biogás, la remoción de sustancias contaminantes que impiden el aprovechamiento de este para la generación de energía, la principal sustancia a eliminar es el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) el cual es altamente tóxico y corrosivo (principal causa de la lluvia ácida) lo cual afecta su utilidad al no ser viable su paso en estructuras metálicas como tuberías dificultando el proceso de generación de energía. Otro contaminante son los siloxanos los cuales contienen silicio (Peña & Davila, 2020).

La técnica para la purificación de biogás dependerá de la o las sustancias que requieren ser removidas y en función del aprovechamiento que se le espera dar al biogás. Algunas de las técnicas empleadas para la purificación de biogás son:

**Contralavado con agua a presión:** También conocido como limpieza húmeda, es un proceso funcional para la eliminación de productos resultantes, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico, que por su diferencia de polaridad con el metano quedan obstruidos. Se entiende que a mayor cantidad de agua es proporcional a la cantidad de  $CO_2$  disuelto. Esta es una de las técnicas más comunes debido a su simplicidad y economía, además de tener una baja pérdida de metano (2%). Una de sus desventajas es el alto crecimiento bacteriano en la torre de lavado que puede generar obstrucción.

**Desulfuración biológica:** También es conocida como biodesulfuración, en esta técnica se integran microorganismos aerobios (Starkeya, Methylobacterium, Sulfolobus) y anaerobios (Thiocapsa, Allochromatium, Rhodospseudomonas,

Chlorobium, Rhodovulum) que remueven compuestos de azufre mediante la oxidación de estos, reduciéndolos a sustancias más sencillas como S o  $\text{SO}_4^{-2}$ .

De esta manera se saca el mayor provecho del  $\text{CH}_4$  purificado al tener la mayor remoción de la sustancia más tóxica y corrosiva ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y el  $\text{CO}_2$ , que entorpece el proceso de aprovechamiento energético. La desulfuración biológica puede llevarse a cabo por microaireación o por biofiltro percolador.

**Refrigeración o secado:** Es necesaria la depuración de vapor de agua y dióxido de carbono debido a que estos disminuyen el poder calorífico del biogás. Mediante un sistema de enfriamiento en una máquina de refrigeración y un intercambiador de calor, se condensa el agua/humedad contenida en la corriente del biogás debido a las bajas temperaturas. Esta tecnología es instalada previo a la etapa del generador o caldera.

**Adsorción con carbón activado:** Esta técnica es útil para la eliminación de siloxanos presentes en el biogás, pero para ello se hace necesario que previamente se haya realizado el proceso de secado, debido a que el carbón activado es funcional frente a un biogás con un 50 % o menos de humedad. Su proceso funciona como un sistema de filtro y un punto de drenaje, reteniendo sustancias que se requiere que sean retiradas del medio. Su principal ventaja es la alta capacidad de remoción de sustancias, pero requiere una alta inversión en mantenimientos frecuentes por agotamiento del carbón activado, requiriendo la recuperación o reactivación del mismo, adicionalmente no elimina los contaminantes, por ende, requiere de otro proceso que disponga de los residuos del proceso de adsorción.

**Lavado químico mediante scrubbers:** Se basa en la reacción química de los componentes contaminantes incluidos en el biogás en corriente al flujo del aire con componentes líquidos o gaseosos en contracorriente. El biogás es lavado en contracorriente con un líquido absorbente o líquido lavador el cual dependerá del contaminante que requiere ser removido (Ortiz, 2022).

### 2.2.7.3. Producción energética a través de biogás

Los principales usos de biogás resultante de la generación de residuos sólidos, son como fuente de energía eléctrica y productor de combustible altamente calorífico. Principalmente, es relevante tener en cuenta que para dicho aprovechamiento energético es necesaria la limpieza o purificación del biogás de acuerdo al producto final del que se pretende disponer, con el fin de remover los sustratos abrasivos con los elementos de estas tecnologías, como los motores y tuberías (Blanco et al., (2017)).( Ver figura 7.)

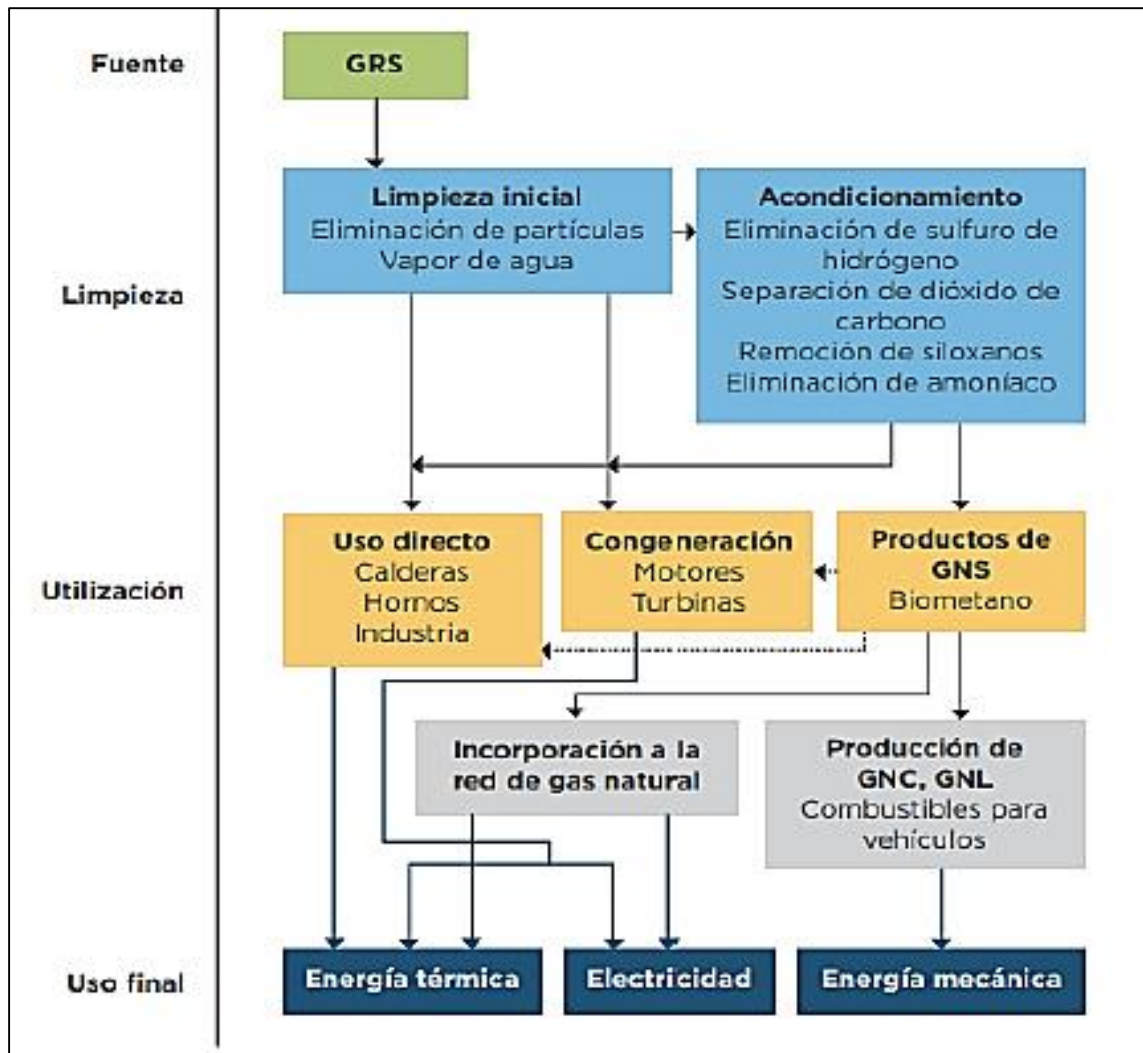


Figura 7. Tratamiento y aprovechamiento del biogás  
Fuente: (Blanco et al., (2017).

#### 2.2.7.4. Estimación de la generación del biogás producido en relleno por medio del proceso anaeróbico.

La estimación de la generación de biogás resulta fundamental para la evaluación del impacto de los rellenos sanitarios y la adopción de medidas de control que reduzcan los gases emitidos o la inclusión de alternativas que mitiguen las repercusiones que generan en el ambiente. A pesar de su importancia es un proceso de alta complejidad debido a la diversidad de factores influyentes y su variación espacial y temporal. Los rellenos sanitarios cumplen dos etapas, la primera es la de funcionamiento, es decir, cuando los RSU son depositados en este para su descomposición, en esta etapa se produce la mayor cantidad de metano. La segunda etapa es la clausura, que corresponde

al cierre del sitio porque alcanza su ocupación total de residuos, a pesar de esto continúa la generación de emisiones de biogás por varios años (Andrade et al., (2018).

En investigaciones realizadas se ha encontrado que los resultados muestran variaciones significativas en las estimaciones de los modelos teóricos versus la medición in-situ. La información generada permite discutir la confiabilidad del uso de modelos teóricos para formular proyectos de aprovechamiento y valorización de RSU al considerar los altos montos de inversión que implican y que las proyecciones de generación de energía se basan en la frecuencia de generación del flujo de biogás estimado en el relleno (Escamilla, 2019). Es por ello que se recomienda realizar mediciones “in situ” en rellenos sanitarios ubicados en sitios cercanos al que se desea utilizar para la construcción del nuevo lugar de disposición final de RSU.

#### **2.2.7.5. Emisiones de biogás fugitivas y capturadas producidas en relleno sanitario.**

La disposición de RSU en rellenos sanitario genera un proceso de descomposición bioquímico del que resulta una serie de gases contaminantes entre los cuales se encuentra el biogás. Como alternativa para disminuir el impacto de este gas a la atmósfera se busca realizar la captura de las emisiones de dicho gas para posteriormente ser utilizado como complemento de combustibles para la generación de energía, reduciendo las emisiones de metano a la atmósfera y mitigando el cambio climático. Para esto es necesario el diseño de sistemas de captura de gases en los rellenos sanitarios, los cuales tienen como objetivo controlar las emisiones fugitivas, controlar los olores, proteger las aguas subterráneas y garantizar la recuperación de energía (Ayisi et al., (2022).

La generación de biogás en rellenos sanitarios implica un proceso de extracción, que se lleva a cabo esencialmente a través de dos métodos: el activo y el pasivo. Conocer cómo se llevan a cabo estos procesos de drenaje de biogás y sus características permite conocer cuál resulta más eficiente en cada situación.

**Drenaje activo del biogás:** Este método de extracción de biogás se basa en el uso de un soplador de aire conectado por tuberías a un sistema de pozos de captación dentro del vertedero. Su principal objetivo es crear vacío para forzar que salga el gas. Este sistema de generación de biogás en rellenos sanitarios está formado por los siguientes elementos:

Colectores de gas, que incluyen los pozos de recolección y las tuberías horizontales que los conectan.

Puntos de recolección, hacia los que se dirige el biogás aspirado. Puede tratarse de tubos o tanques de almacenamiento. Es posible que aquí se condense una parte del agua que contiene el gas.

Separador de agua, que separa el fluido del flujo de gas  
Tubo de aspiración de gas, que lo lleva hasta el soplador  
Soplador, que genera succión. De esta manera, extrae los gases y los lleva al incinerador o a los puntos de recolección  
Tubo de transporte, que lleva los gases hasta el incinerador  
Antorcha, donde se produce la combustión del biogás  
Incinerador, que incluye todo el equipo de aprovechamiento de la energía

Al crear este sistema de generación de biogás en rellenos sanitarios, hay que tener en cuenta que el vacío del soplador debe tener capacidad para actuar sobre el cuerpo de la basura. Además, al preparar el relleno sanitario es recomendable la instalación de una tubería horizontal en los diversos niveles de la basura almacenada. De esta manera, se pueden recoger los gases eficientemente (geniabioenergy, 2022).

**Drenaje pasivo del biogás:** Los procesos de drenaje de biogás pasivos pueden llevarse a cabo con y sin pozos de recolección, lo que determina la estructura del relleno sanitario o vertedero.

El drenaje pasivo sin pozos de recolección hace que el biogás generado se mueva horizontalmente entre las distintas capas de basura. De esta manera, los taludes laterales y la capa de recubrimiento se convierten en un filtro biológico. Una de las características de este sistema es que el gas se mezcla en la atmósfera y se diluye. Evitar fisuras en un relleno sanitario en funcionamiento es, por lo tanto, esencial. En consecuencia, será necesario añadir cada día una capa de tierra encima de la basura, que ayude a evitar que los gases acaben generando contaminación atmosférica.

Por otro lado, el drenaje pasivo con pozos de recolección crea pozos verticales en el relleno sanitario, para aprovechar la difusión horizontal de gases en su interior. Los gases se llevan hasta ellos y se trasladan hacia el exterior de forma controlada. Es prioritario que estos pozos de recolección tengan una alta permeabilidad de gases para facilitar su desalojo. Los pozos de recolección de los sistemas de generación de biogás en rellenos sanitarios pueden estar hechos de malla de acero y puntales de madera, y rellenos con rocas o grava. También pueden ser de tubo perforado, con los mismos elementos en su interior.

Contar con los pozos y todos los elementos adecuados para la generación de biogás en rellenos sanitarios es esencial para que este proceso se pueda llevar a cabo con todas las garantías de eficiencia en la producción de energía y, sobre todo, seguridad para los trabajadores y el entorno (geniabioenergy, 2022).

Respecto a su utilización, varios estudios indican que:

✓ La utilización del gas parece ser redituable alrededor de un año después de que el residuo se ha depositado.

✓ Los rellenos pequeños son los menos económicos, pero comparados con otras fuentes alternas de energía la utilización del gas puede ser relativamente una buena inversión.

Para el gas metano producido durante los procesos de degradación orgánica en los rellenos puede ser usado como combustible de unidades de generación eléctrica que posteriormente pueden ser empleados con fines domésticos. (Ver figura 8). El uso de este tipo de combustible es una actividad que aprovecha un producto de los residuos y ahorra el consumo de otras fuentes de energía (Andrade et al., (2018)).

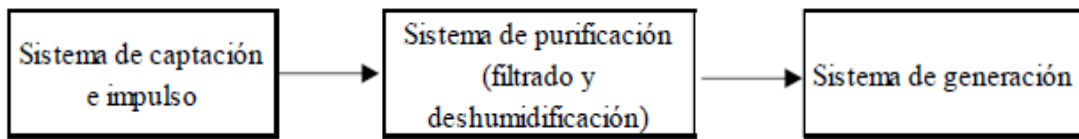


Figura 8. Diagrama para aprovechamiento de biogás para generación de energía eléctrica Fuente: (Andrade et al., (2018)).

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), propone una ecuación para la producción de energía eléctrica a partir del biogás, esta ecuación considera escenarios de baja, media y alta disponibilidad de metano, además parámetros relacionados a la eficiencia de las máquinas involucradas en la conversión de energía (BID, 2022).

$$Potencia\ disponible\ (kW) = n_t \times PCI_{biogás} \times Q_{biogás} \quad Ec. 1$$

Donde:

$n_t$ : es el rendimiento térmico de generar electricidad, asumiendo valores de 25, 33 y 40% para los diferentes escenarios.

$PCI_{biogás}$ : es el poder calorífico inferior del biogás (5 kWh/m<sup>3</sup>)

$Q_{biogás}$ : es el caudal capturado (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/hora)

La energía eléctrica que se podrá generar debe ser considerada en función de la potencia disponible y el factor de disponibilidad, el cual puede ser estimado en 85% debido al mantenimiento, ante ello utilizar la siguiente ecuación (BID, 2022):

$$Electricidad\ \left(\frac{kWh}{año}\right) = Potencia\ disponible \times 0,85 \times 8760 \quad Ec. 2$$

### 2.3. Bases legales

**Constitución de la República Bolivariana de Venezuela** de fecha 15 de diciembre de 1999, publicada en Gaceta Oficial N° 36.860 de fecha 30 de diciembre de 1999, N° 36.860

#### Capítulo IX. De los Derechos Ambientales

**Artículo 127.** Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia. Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley.

**Artículo 128.** El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento (Iurconsultores, 2023).

**Ley Orgánica del Ambiente** No. 5 833.: Gaceta Oficial Extraordinaria, República Bolivariana de Venezuela, 22 de diciembre de 2006.

Esta Ley tiene por objeto establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad

De igual forma, establece las normas que desarrollan las garantías y derechos constitucionales a un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado (Iurconsultores, 2023).

**Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio.** Gaceta Oficial N° 38,263, 1 de septiembre de 2005

Esta Ley tiene por objeto establecer las disposiciones que regirán el proceso general para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio, en concordancia con las realidades ecológicas y los principios, criterios, objetivos estratégicos del desarrollo sustentable, que incluyan la participación ciudadana y sirvan de base para la planificación del desarrollo endógeno, económico y social de la Nación (docs.venezuela, 2005).

**Ley de Gestión Integral de la Basura**, de fecha 28 de diciembre de 2010, publicada en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.017, de fecha 30 de diciembre de 2010.

La presente Ley establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura (Iurconsultores, 2023).

**Ley de Agua**. Gaceta Oficial N° 38 595 de fecha 01 de enero de 2007.

Tiene por objeto procurar la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico y de interés de Estado.

Artículo 13. “Los generadores de efluentes líquidos deben adoptar las medidas necesarias para minimizar la cantidad y mejorar la calidad de sus descargas, de conformidad con las disposiciones establecidas de esta Ley y demás normativas que la desarrolle” (Taylhardat, 2015).

**Decreto N° 230**. Normas Sanitarias para Proyecto y Operación de un Relleno Sanitario, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 34.600 de fecha 22 de noviembre de 1990

El proyecto y operación de un relleno sanitario, bien sea público o privado, queda sometido a la vigilancia del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, en todo cuanto se refiera al cumplimiento de las disposiciones sanitarias (pandectasdigital, 2023). Los criterios considerados en el proyecto, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Variables elegidas como criterio de selección para variantes de sitio

| Ítem | Criterio de selección                    |
|------|--|
| 1    | Distancia a recursos hídricos (m)        |
| 2    | Distancia a áreas protegidas             |
| 3    | Uso del suelo                            |
| 4    | Precipitación (mm)                       |
| 5    | Distancia a áreas residenciales (km)     |
| 6    | Distancia a centros de educación (km)    |
| 7    | Distancia a vía de acceso principal (km) |
| 8    | Distancia de material de cobertura (km)  |
| 9    | Pendiente del terreno (%)                |
| 10   | Tipo de suelo                            |
| 11   | Temperatura (°C)                         |
| 12   | Distancia a servicios básicos (km)       |
| 13   | Disponibilidad de material de cobertura  |

Fuente: Normas sanitarias para proyecto y operación de un relleno sanitario de la República Bolivariana de Venezuela (slideshare, 2010).

Con respecto a los criterios señalados en la tabla 1, el mismo decreto 230 establece que:

**Artículo 6.** Los terrenos para la ejecución de un relleno sanitario deberán ser fáciles de trabajar, con promedios de 50% a 60% de arena y el resto constituido por cantidades iguales de arcilla y sedimentos fluviales. Deberá evitarse en lo posible los terrenos pedregosos o arcillosos que pueden dificultar los trabajos de excavación y movimiento de los vehículos.

**Artículo 7.** Para evitar la posible contaminación de las aguas superficiales y subterráneas se establece que:

- a. No se deberán efectuar rellenos sanitarios en tierras con estratos rocosos superficiales.
- b. No se permitirá situar los rellenos sanitarios en minas u otras áreas en donde puedan ocurrir infiltraciones que lleguen a la capa acuífera o a los pozos.
- c. El coeficiente de permeabilidad máximo permisible en los sitios de disposición final de los residuos sólidos es del orden de  $10^{-7}$  cm/seg., en el caso de que se practique el método de trinchera las paredes laterales admitirán un máximo de permeabilidad de  $10^{-6}$  cm/seg.

**Artículo 8.** La extensión del terreno requerido para la ejecución de un relleno sanitario deberá determinarse en base a las cantidades de residuos de que se va a disponer al momento y a prever las cantidades futuras de residuos.

**Artículo 9.** La selección del sitio deberá efectuarse acorde con la jurisdicción del área para disposición de residuos sólidos y leyes vigentes (pandectasdigital, 2023).

Además, para los criterios que no se mencionan en el decreto 230, se tomarán como referencia los valores señalados en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios y subcriterios de clasificación

| <b>CRITERIOS</b>                  | <b>SUBCRITERIOS</b>               | <b>CRITERIOS</b>                        | <b>SUBCRITERIOS</b>            |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|
| Distancia a recursos hídricos (m) | >2000                             | Tipo de suelo                           | Arcilloso-Franco arcilloso     |
|                                   | 1500-2000                         |   | Arcilloso limoso-Franco limoso |
|                                   | 1000-1500                         |   | Limoso                         |
|                                   | 200-1000                          |   | Arenoso arcillosos             |
|                                   | 0-200                             |   | Arenoso-desconocido            |
|                                   | TOTAL                             |   | <15                            |
| Distancia a áreas protegidas (m)  | >1250                             | Distancia a centros de educación (Km)   | 10 a 15                        |
|                                   | 1000-1250                         |   | 5 a 10                         |
|                                   | 750-1000                          |   | 2 a 5                          |
|                                   | 500-750                           |   | <2                             |
|                                   | <500                              |   | Total                          |
|                                   | TOTAL                             |   | 0-5                            |
| Uso de suelo                      | Erial                             | Distancia a vías de acceso (Km)         | 5 a 10                         |
|                                   | Tierra agrícola/ otras coberturas |   | 10 a 15                        |
|                                   | Bosques                           |   | <15                            |
|                                   | Vegetación Arbustiva/ herbácea    |   | Total                          |
|                                   | Área urbana                       |   |                                |
|                                   | TOTAL                             |   | 0-2                            |
| Precipitación                     | 200-250                           | Distancia de material de cobertura (Km) | 2 a 4                          |
|                                   | 250-500                           |   | 4 a 6                          |
|                                   | 500-1000                          |   | 6 a 10                         |
|                                   | 1000-2000                         |   | >10                            |

|   |                              |                               |          |
|---|------------------------------|-------------------------------|----------|
|   | 2000-4000                    |                               | 0-9      |
| Disponibilidad de material de cobertura | Arcillas marinas de estuario | Pendientes %                  | 9 a 18   |
|   | Cazaderos                    |                               | 18-25    |
|   | Gabro                        |                               | 25       |
|   | Granito                      |                               | Total    |
|   | Granodiorita                 | Temperatura °C                | 0-8      |
|   | Grupo Zarumilla              |                               | 8 a 11   |
|   | Macuchi                      |                               | 11 a 14  |
|   | Volcánico Pisayambo          |                               | 14-17    |
|   | Volcánico Saraguro           |                               | 17-26    |
|   | Zapotillo-Ciano              |                               |          |
| Distancia áreas residenciales           | <15                          | Distancia a servicios básicos | Alta     |
|   | 10 a 15                      |                               | Medio    |
|   | 5 a 10                       |                               | Bajo     |
|   | 0.5 a 5                      |                               | Muy Bajo |
|   | 0 a 0.5                      |                               | Total    |
|   | Total                        |                               |          |

Fuente: (Peñañiel, 2021)

Estos criterios se someterán a un sistema de valorización por el método de peso y escala (Tabla 3), que consiste en la confrontación de variables, dando prioridad de acuerdo al orden de importancia; se obtiene una escala de valores sobre la base de 100, que es útil para pesar la variable, que luego es dividida en cinco ponderaciones que van desde la condición más desfavorable del factor de campo hasta el ideal, correspondiendo a cada uno la quinta parte del valor obtenido (n/5,

en donde n adopta el valor de 1 a 5) por su importancia en la matriz de peso y escala, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Escala de ponderación para el puntaje de las variables

| Calificación | Puntaje |
|--------------|---------|
| Muy malo     | 1       |
| Malo         | 2       |
| Regular      | 3       |
| Bueno        | 4       |
| Muy bueno    | 5       |

Fuente: Normas sanitarias para proyecto y operación de un relleno sanitario de la República Bolivariana de Venezuela (slideshare, 2010).

#### 2.4. Definición de términos básicos

**Anaerobio:** Se denomina anaerobio al organismo o proceso que puede subsistir pese a la falta de oxígeno.

**Aprovechamiento:** acto de hacer uso de manera útil algo, sacándole mayor rendimiento y convirtiéndolo en algo provechoso.

**Biodigestor:** Es un contenedor de cualquier forma, tamaño o material y además hermético donde se lleva a cabo la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas y facilita la extracción del gas como producto.

**Biogás:** sustancia gaseosa, producida a partir de la degradación de materia orgánica presente en los desechos; esta sustancia es un combustible aprovechable que de no ser tratado contribuye a la contaminación de la capa de ozono.

**Biomasa:** Hace referencia a “la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía”.

**Tecnología limpia:** aquella que al ser aplicada minimiza los efectos secundarios o transformaciones nocivas al equilibrio ambiental o a los sistemas naturales.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Para Balestrini (2006) se define el marco metodológico “como la instancia referida a los métodos, las diversas reglas, registros, técnicas y protocolos con los cuales una teoría y su método calculan las magnitudes de lo real” (p. 126).

#### **3.1 Tipo de Investigación**

La investigación se enmarca en el tipo Proyecto Factible, que consiste en:

La elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El Proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades (UPEL, 2014).

La Investigación se considera proyecto factible, debido a que mediante un estudio de factibilidad se realizó la ubicación de un relleno sanitario en el municipio San Diego, estado Carabobo, para solucionar el problema de disposición final de la basura de ese municipio, para ello se aplicó la valoración de parámetros territoriales y además, se propuso el proceso de aprovechamiento del biogás producido.

#### **3.2 Diseño de la Investigación**

Según Hernández, Fernández y Baptista (2017) los diseños no experimentales son “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos” (p. 149). Al respecto, los parámetros territoriales de la zona en estudio, se validaron lo que permitió conocer si la ubicación propuesta en el PDUL del municipio San Diego es factible, de esta manera, la cantidad de biogás que se pueda aprovechar dependerá del tipo y cantidad de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario.

Asimismo, considerando que los datos con los que se realizó el diseño fueron obtenidos de fuentes primarias y secundarias, se considera como una Investigación de Campo y Documental. La investigación de campo es una de las metodologías más usadas en el área de la investigación,

ya que ofrece varias ventajas cuando se trata de recopilar datos (Hernández y otros, 2017). En cuanto a la Investigación Documental, señala Rus (2020) “es aquella que obtiene la información de la recopilación, organización y análisis de fuentes documentales escritas, habladas o audiovisuales”

### **3.3 Nivel de la Investigación**

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio, tomando en cuenta la calidad y profundidad de la información con que se cuenta al inicio del proceso (Arias, 2012). Señala el mismo Arias (2012) La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento (p.24).

El presente estudio tiene un nivel descriptivo, ya que se estudiaron los parámetros territoriales para la ubicación del relleno sanitario del municipio San Diego, estado Carabobo, a través de la utilización de criterios establecidos en el decreto 230 de la legislación ambiental venezolana vigente para establecer la factibilidad de su localización en lugar señalado por la Alcaldía del municipio San Diego.

### **3.4 Población y Muestra**

#### **3.4.1. Población**

De acuerdo con Arias (2012), la población “Es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (p. 81). En la presente investigación la población estuvo conformada por la superficie del municipio San Diego.

#### **3.4.2. Muestra**

Destaca el mismo autor que la muestra es “un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. (p. 83). En el caso de estudio, la muestra estuvo representada por un área señalada en el PDUL del mencionado municipio, con un muestreo no probabilístico e intencional. A la superficie donde se pretende localizar el relleno sanitario se le realizó el estudio de factibilidad objeto de la presente investigación.

### **3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.5.1 Técnicas**

Las técnicas de recolección de datos representan los medios que se emplearán para recopilar la información pertinente del estudio. En este caso se utilizaron como técnicas: la observación directa, menciona Tamayo y Tamayo (2006) que “es aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”, la revisión documental, según Arias (2012) “es un conjunto de operaciones encaminadas a representar un documento y su contenido bajo una forma diferente de su forma original, con la finalidad posibilitar su recuperación posterior e identificarlo” (p.68) y la entrevista, esta es una técnica de gran utilidad en la investigación cualitativa para recabar datos; se define como una conversación que se propone un fin determinado distinto al simple hecho de conversar (scielo, 2013). Se argumenta que la entrevista es más eficaz que el cuestionario porque obtiene información más completa y profunda, además presenta la posibilidad de aclarar dudas durante el proceso, asegurando respuestas más útiles.

#### **3.5.2 Instrumentos**

Los instrumentos de acuerdo con Duarte y Parra (2014), como “aquellos medios impresos, dispositivos, herramientas o aparatos que se utilizan para registrar la información obtenida”. (p.93)

Los instrumentos empleados fueron:

**Lista de cotejo:** También denominada ficha de control o verificación, es el instrumento en el que se indica la presencia o ausencia de un aspecto o conducta a ser observada (Arias, 2012).

Los instrumentos del análisis documental fueron: Fichas, computadoras y sus unidades de almacenaje.

Para la entrevista, se utilizó como instrumento una entrevista no estructurada. Según Arias (2012) Entrevista no estructurada o informal: “en esta modalidad no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente” ya que se aplicó a especialistas en el área de planeamiento urbano y la idea es obtener toda la información que tengan disponible en esa Dirección perteneciente a la Alcaldía del municipio San Diego.

### **3.6 Técnicas de Análisis de Datos**

Según Arias (2012) “el análisis de datos es donde se definirán las técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis-síntesis), o estadísticas (descriptivas o inferenciales), que serán empleadas para descifrar lo que revelan los datos recolectados” (p.111)

Una vez que se tienen todos los datos ordenados y limpios, parte de las habilidades que favorecen al buen análisis de datos, lo más crítico es que se entienda qué significan y que tipo de información se tiene tras todos los números y comportamientos. Saber interpretar los datos es uno de los retos más cruciales a los que se enfrentan los investigadores (Cárdenas, 2020). La técnica de análisis de datos se apoyó en la matriz FODA y el diagrama de Ishikawa, los cuales se definen a continuación.

#### **Análisis FODA:**

Es una herramienta que permite conformar un cuadro de la situación actual del objeto de estudio (persona, empresa u organización, etc.) permitiendo de esta manera obtener un diagnóstico preciso que permite, en función de ello, tomar decisiones acordes con los objetivos y políticas formulados. La sigla FODA, es un acrónimo de Fortalezas (factores críticos positivos con los que se cuenta), Oportunidades, (aspectos positivos que podemos aprovechar utilizando nuestras fortalezas), Debilidades, (factores críticos negativos que se deben eliminar o reducir) y Amenazas, (aspectos negativos externos que podrían obstaculizar el logro de nuestros objetivos) (matrizfoda, 2023).

### **3.7 Fases Metodológicas**

#### **Fase I. Diagnóstico de la situación actual del terreno donde se ubicará el relleno sanitario en el municipio San Diego, estado Carabobo**

En esta fase, se buscó conocer a través de datos suministrados por la Dirección de Servicios Públicos de la Alcaldía del municipio San Diego, la cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) producidos en el ámbito territorial del municipio, estos datos se obtuvieron de la entrevista realizada al Director de esta dependencia. Con los datos recolectados, se realizó un análisis FODA y un diagrama de Ishikawa, lo que permitió plasmar la situación actual objeto de esta fase.

#### **Fase II. Análisis del lugar establecido en el PDUL para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, generados en el municipio San Diego, estado Carabobo**

El posible sitio de disposición final de los residuos sólidos, fue previamente ubicado por la Dirección de Planeamiento Urbano de la señalada Alcaldía, falta formalizar el estudio de factibilidad esencia de esta investigación. Se efectuaron inspecciones al sitio para poder realizar mediciones que permitan conocer cómo es la localización del área seleccionada con respecto a los 13 criterios establecidos en este estudio, para ello se utilizó una lista de cotejo.

#### **Fase III. Evaluación de los requerimientos técnicos, ambientales, económicos y sociales del sitio para la ubicación de un relleno sanitario.**

Debido a que en el PDUL del municipio está señalado un sitio para la posible ubicación del relleno sanitario, a esta área se le realizó el estudio de factibilidad mediante la aplicación de 13 criterios o evaluación de parámetros territoriales establecidos en la legislación ambiental vigente (decreto 230), estos criterios fueron indicados en la Tabla 1.

Igualmente, se verificó si se cuenta con los recursos humanos, institucionales y materiales para elaborar la propuesta. Para la determinación de la factibilidad técnica, social, ambiental y operativa se utilizó el esquema propuesto por (UPEL, 2004), el cual toma en cuenta:

- ✓ **Tamaño del Proyecto:** tiempo que dura su ejecución y vida útil
  - Factores Condicionantes del Proyecto.
- ✓ **Proceso Global de Transformación.**
  - Descripción del Proceso Global de Transformación.
  - Flujo Grama del Proceso global de Transformación.
- ✓ **Localización del Proyecto.**
  - Macro Localización.
  - Micro Localización.

#### **Fase IV. Instauración de los lineamientos para el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario como energía eléctrica alternativa**

Una vez realizado el estudio de factibilidad, se procedió a establecer un método de utilización del biogás generado en el relleno sanitario, mediante un análisis bibliográfico de las técnicas de aprovechamiento existentes. Las variables, su definición, dimensión e indicadores, se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Cuadro Técnico Metodológico

| Objetivo General: Realizar el estudio de factibilidad para la ubicación de un relleno sanitario mediante parámetros territoriales con aprovechamiento del biogás producido. Caso Estudio: Municipio San Diego, estado Carabobo. |  |  |                          |   |
|---|--|--|--------------------------|---|
| Objetivos Específicos.  | Variables  | Definición   | Dimensión                | Indicador   |
| Diagnosticar el manejo de los residuos sólidos urbanos generados en el municipio San Diego, estado Carabobo   | Condiciones actuales   | Situación actual de la disposición final de desechos no peligrosos en el municipio San Diego | Técnica                  | Presencia de basura en distintos puntos del municipio. (Botaderos)  |
| Identificar el lugar de disposición final de los residuos sólidos urbanos generados en el municipio San Diego, estado Carabobo  | Planeamiento Urbano municipio San Diego  | Sitio establecido en el PDUL   | Técnica                  | Uso del sitio establecido en el PDUL  |
| Analizar los requerimientos operativos, técnicos, ambientales, económicos y sociales para la localización de posibles áreas de ubicación de un relleno sanitario  | Distancia a recursos hídricos, distancia a áreas protegidas, distancia hasta áreas residenciales, profundidad de la napa freática, precipitación, área del terreno, tipo de suelo, pendientes, uso de suelo, vida útil, posibilidad de material de cobertura, distancia a vías de acceso y propiedad del terreno | Análisis multicriterio   | Parámetros territoriales | Comparación de lo establecido en la norma, con los parámetros del lugar indicado en el PDUL.<br><br>Decreto 230 |
| Establecer los lineamientos para el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario como energía eléctrica alternativa  | Aprovechamiento del biogás   | Factores condicionantes del aprovechamiento del biogás                                       | Técnica                  | Generación de metano  |

Fuente: Kouefati (2023)

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Fase I. Diagnóstico de la situación actual del terreno donde se ubicará el relleno sanitario en el municipio San Diego, estado Carabobo

De acuerdo a la información proporcionada por el director de servicios públicos de la alcaldía de San Diego, el manejo de la basura en el municipio, lo realiza la empresa FOSPUCA, de acuerdo a datos suministrados por la empresa, se generan diariamente 80 ton de basura, de acuerdo a esta cantidad el área que ocuparía el relleno sanitario sería:

$$V_{basura} = ppc * N * 365 * \frac{t}{\rho}$$

$$V_{relleno} = 1,3 * V_{basura}$$

Donde:

$ppc$  = producción diaria de basura per cápita

$N$  = número de habitantes

$t$  = vida útil del relleno en años

$\rho$  = densidad de la basura

$$V = 0,86 \text{ kg/hab*día} * 92076 \text{ hab} * 365 \text{ días} * 10 \text{ años} / 630 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{basura} = 463.492,06 \text{ m}^3$$

$$V_{relleno} = 602.539,68 \text{ m}^3$$

Además, el factor volumen/área =  $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ , es decir,  $100.000 \text{ m}^3 / 1 \text{ ha}$ , con los resultados obtenidos, el relleno sanitario ocuparía un área de 6,022 ha, considerando la separación entre las fosas.

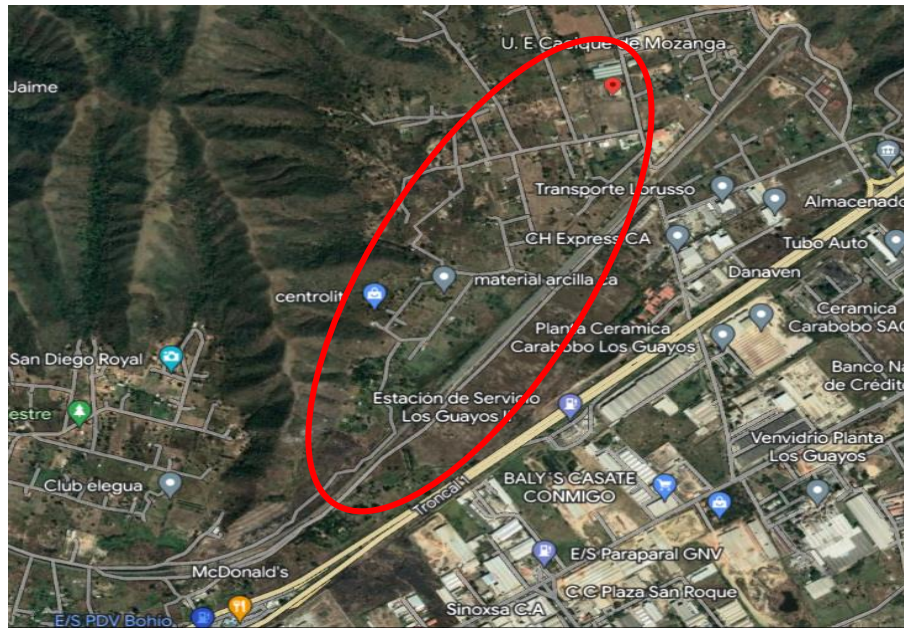


Figura 9. Ubicación del sector en estudio  
Fuente: Kouefati (2023)



Figura 10. Área en estudio para localización de relleno sanitario  
Fuente: Kouefati (2023)

Con la información recolectada, se elaboró una matriz FODA, Tabla 4, utilizada como herramienta de análisis de la situación actual, la misma fue utilizada para fundamentar la toma de decisiones al momento de realizar el estudio de factibilidad, en ella se plasma el resultado del

diagnóstico de la situación actual, es decir, brinda información sobre las debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas existentes en torno a la ubicación del relleno sanitario.

Tabla 4. Matriz FODA

| <b>Fortalezas</b>  | <b>Debilidades</b>  |
|--|---|
| La alcaldía cuenta con personal capacitado para la elaboración de proyectos ambientales<br>Buen estado de la vialidad en el sector “Mozanga” | Uso de los terrenos donde se pretende ubicar el relleno sanitario<br>Falta de sistema de recolección de aguas servidas para captación de lixiviados en la zona donde se proyectó el relleno sanitario |
| <b>Oportunidades</b>   | <b>Amenazas</b>   |
| La empresa de recolección, solo recoge residuos y desechos sólidos no peligrosos<br>Existencia de empresas recicladoras en el municipio      | Incumplimiento del Decreto 230<br>Falta inversión por parte del Estado venezolano   |

Fuente: Kouefati (2023)

#### 4.2. Fase II. Análisis del lugar establecido en el PDUL para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, generados en el municipio San Diego, estado Carabobo

Para realizar el análisis, se midió la distancia desde los lugares establecidos en el decreto 230 y el posible sitio de ubicación del relleno sanitario. En total, se estipularon 13 criterios:

- distancia a recursos hídricos,
- distancia a áreas protegidas,
- uso de suelo,
- precipitación,
- distancia a áreas residenciales,
- distancia a centros de educación,
- distancia a vías de acceso,
- distancia a material de cobertura,
- pendientes,
- tipo de suelo,
- temperatura,
- distancia a servicios básicos,
- disponibilidad de material de cobertura.

A continuación se muestran las distancias a los diferentes lugares señalados en la norma antes mencionada.



Figura 11. Distancia a recurso hídrico  
Fuente: Kouefati (2023)

En la figura 12, se indica el recorrido que habría entre un cuerpo de agua existente en el sector “Mozanga” y el relleno sanitario, como se puede observar, la distancia medida es de 220,81 m., con relación al valor establecido en la norma se considera con clasificación de malo, muy cerca de una clasificación de “muy malo”, tal como se indica en la tabla 5.

Tabla 5. Distancia a recursos hídricos (m)

| Criterio                          | Subcriterio | Clasificación | Puntaje |          |
|-----------------------------------|-------------|---------------|---------|----------|
| Distancia a recursos hídricos (m) | >2000       | Muy bueno     | 5       |          |
|                                   | 1500-2000   | Bueno         | 4       |          |
|                                   | 1000-1500   | Regular       | 3       |          |
|                                   | 200-1000    | Malo          | 2       | 220,81 m |
|                                   | 0-200       | Muy malo      | 1       |          |

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)

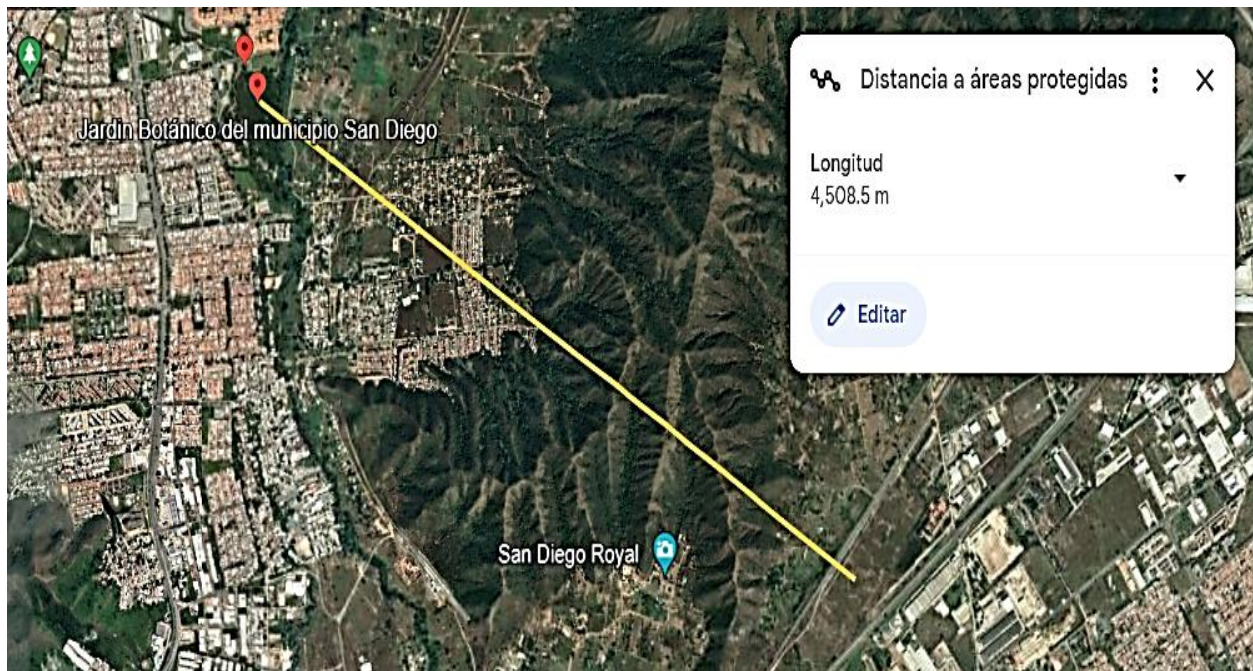


Figura 12. Distancia a área protegida

Fuente: Kouefati (2023)

En la figura 13, se señala la distancia existente entre el Jardín Botánico del municipio Sandiego (área protegida) y el lugar seleccionado en el PDUL (sector “Mozanga”) para ubicar el relleno sanitario, como se puede observar, existe una longitud de 4.508,50 m., con relación al valor establecido en la norma se considera con clasificación de muy bueno, ver tabla 6.

Tabla 6. Distancia a áreas protegidas

| <b>Criterio</b>                  | <b>Subcriterio</b> | <b>Clasificación</b> | <b>Puntaje</b> |          |
|----------------------------------|--------------------|----------------------|----------------|----------|
| Distancia a áreas protegidas (m) | >1250              | Muy bueno            | 5              | 4.508,50 |
|                                  | 1000-1250          | Bueno                | 4              |          |
|                                  | 750-1000           | Regular              | 3              |          |
|                                  | 500-750            | Malo                 | 2              |          |
|                                  | <500               | Muy malo             | 1              |          |

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)



Figura 13. Uso de suelo

Fuente: Kouefati (2023)



Figura 14. Suelos de vocación agrícola

Fuente: Kouefati (2023)

Uno de los resultados del recorrido realizado, fue que se pudo observar que en la zona a varios terrenos se les da un uso agrícola, de manera artesanal como se muestra en la figura 14, pero además, en líneas generales los suelos son de vocación agrícola, tal como se observa en la figura 15, adaptada a partir de la herramienta Google Earth. En la tabla 7, se indica el puntaje de acuerdo a lo establecido en el decreto 230.

Tabla 7. Uso de suelo

| Criterio     | Subcriterio                      | Clasificación | Puntaje |
|--------------|----------------------------------|---------------|---------|
| Uso de suelo | Bosques                          | Muy malo      | 1       |
|              | Tierra agrícola/otras coberturas | Malo          | 2       |
|              | Vegetación Arbustiva/herbácea    | Regular       | 3       |
|              | Erial                            | Bueno         | 4       |
|              | Área urbana                      | Muy bueno     | 5       |

Tierra agrícola y otros usos

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)

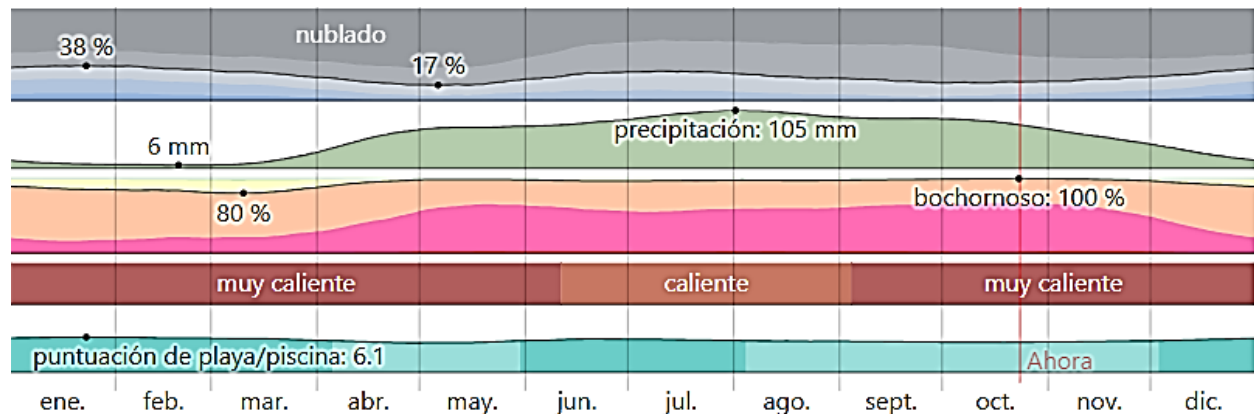


Figura 15. El clima en San Diego

Fuente: (weatherspark, 2023)

Como se muestra en la figura 16, el valor de precipitación promedio en el municipio San Diego es de 105 mm/mes, en lo que respecta a este parámetro se puede considerar como Muy bueno de acuerdo a lo establecido por el precitado decreto 230, tal como se señala en la tabla 8.

Tabla 8. Precipitación

| Criterio           | Subcriterio | Clasificación | Puntaje |
|--------------------|-------------|---------------|---------|
| Precipitación (mm) | 2000-4000   | Muy malo      | 1       |
|                    | 1000-2000   | Malo          | 2       |
|                    | 500-1000    | Regular       | 3       |
|                    | 250-500     | Bueno         | 4       |
|                    | 200-250     | Muy bueno     | 5       |

105 mm

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)



Figura 16. Áreas residenciales  
Fuente: Kouefati (2023)

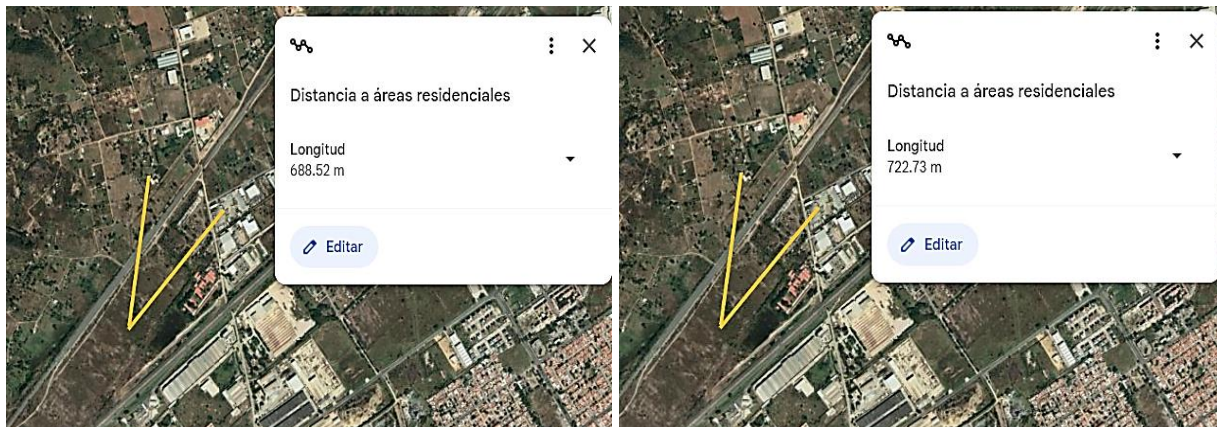


Figura 17. Distancia a áreas residenciales  
Fuente: Kouefati (2023)

En las figuras 17 y 18, se expone el valor de la variable “distancia a áreas residenciales”, de la que se obtuvo un valor promedio de 705,32 m, lo que se traduce en una calificación de “Malo” tal como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Distancia a áreas residenciales

| Criterio                             | Subcriterio | Clasificación | Puntaje |        |
|--------------------------------------|-------------|---------------|---------|--------|
| Distancia a áreas residenciales (Km) | 0 a 0,5     | Muy malo      | 1       | 705,32 |
|                                      | 0,5 a 5     | Malo          | 2       |        |
|                                      | 5 a 10      | Regular       | 3       |        |
|                                      | 10 a 15     | Bueno         | 4       |        |
|                                      | <15         | Muy bueno     | 5       |        |

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)

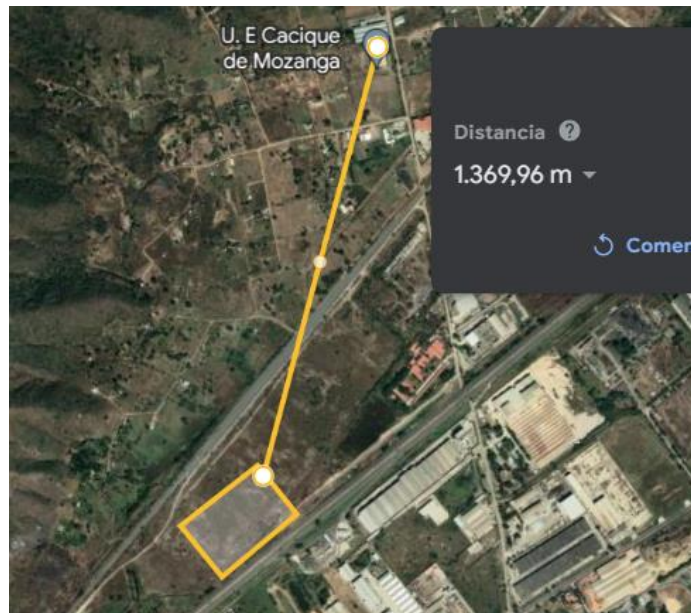


Figura 18. Distancia a centros de educación  
Fuente: Kouefati (2023)

En el sector Mozanga, existe una Unidad Educativa cuyo nombre es “UE Cacique de Mozanga”, ver figura 19, la misma se encuentra ubicada a 1369,96 m del lugar destinado para la ubicación del relleno sanitario, en concordancia con lo establecido en el decreto 230, debido a la distancia presentada se califica como Muy malo. Ver Tabla 10.

Tabla 10. Distancia a centros de educación

| Criterio                              | Subcriterio | Clasificación | Puntaje |
|---------------------------------------|-------------|---------------|---------|
| Distancia a centros de educación (Km) | <2          | Muy malo      | 1       |
|                                       | 2 a 5       | Malo          | 2       |
|                                       | 5 a 10      | Regular       | 3       |
|                                       | 10 a 15     | Bueno         | 4       |
|                                       | <15         | Muy bueno     | 5       |

1,37

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)



Figura 19. Vía de acceso

Fuente: Kouefati (2023)

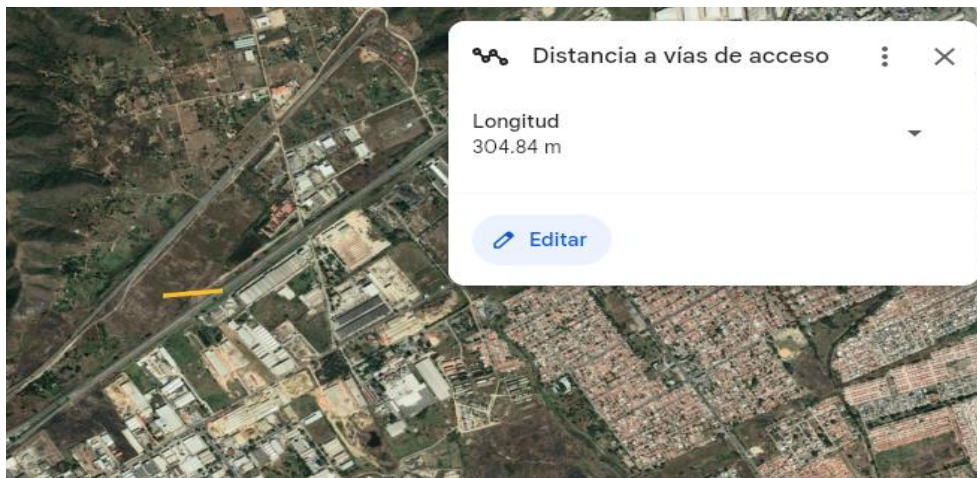


Figura 20. Distancia a vías de acceso

Fuente: Kouefati (2023)

El sector seleccionado para la ubicación del relleno sanitario, se encuentra adyacente a la autopista regional del centro. Ver figura 21, además, cuenta con suficiente vialidad interna para el posible desplazamiento de los camiones que llevarían los desechos al sitio de disposición final, en la tabla 11.

Tabla 11. Distancia a vías de acceso

| <b>Criterio</b>                 | <b>Subcriterio</b> | <b>Clasificación</b> | <b>Puntaje</b> |
|---------------------------------|--------------------|----------------------|----------------|
| Distancia a vías de acceso (Km) | <15                | Muy malo             | 1              |
|                                 | 10 a 15            | Malo                 | 2              |
|                                 | 5 a 10             | Bueno                | 4              |
|                                 | 0 a 5              | Muy bueno            | 5              |
|                                 |                    |                      | 0,3            |

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)

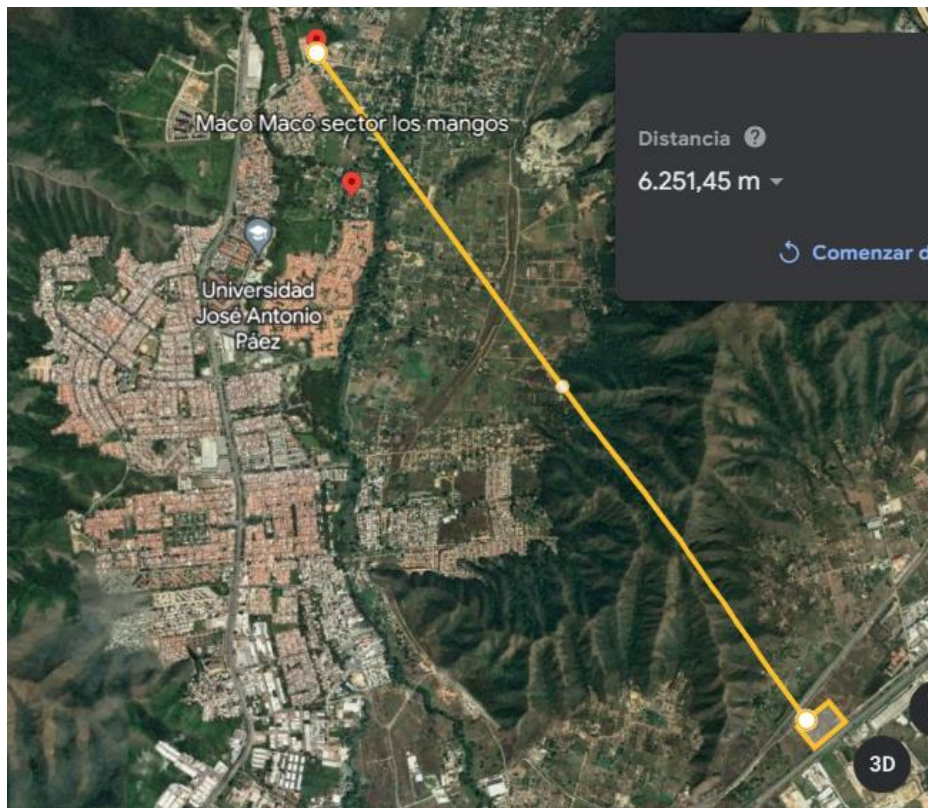


Figura 21. Distancia a material de cobertura

Fuente: Kouefati (2023)

Debido al tipo de suelo (franco arenoso) existente en la zona, se hace necesario realizar el carpeteo diario con material de préstamo, el sitio más cercano se encuentra ubicado a 6.251,45 m,

es decir, a más de seis kilómetros, como se muestra en la figura 22. De acuerdo a este valor se califica como Malo. Ver tabla 12.

Tabla 12. Distancia a material de cobertura

| Criterio                                | Subcriterio | Clasificación | Puntaje |         |
|---|-------------|---------------|---------|---------|
| Distancia de material de cobertura (Km) | >10         | Muy malo      | 1       | 6251,45 |
|   | 6 a 10      | Malo          | 2       |         |
|   | 4 a 6       | Regular       | 3       |         |
|   | 2 a 4       | Bueno         | 4       |         |
|   | 0-2         | Muy bueno     | 5       |         |

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)



Figura 22. Pendiente del sitio para ubicación del relleno sanitario

Fuente: Alcaldía municipio San Diego (2023).

La dirección de Desarrollo urbano de la Alcaldía del municipio San Diego, en función al PDUL que posee ese organismo, indicó que las pendientes predominantes en el sector Mozanga oscilan entre el 3 y el 6%. Ver figura 23, según lo establecido en el decreto 230, este valor se puede considerar como Muy bueno según lo señalado en la tabla 13.

Tabla 13. Pendiente

| <b>Criterio</b> | <b>Subcriterio</b> | <b>Clasificación</b> | <b>Puntaje</b> |      |
|-----------------|--------------------|----------------------|----------------|------|
| Pendientes      | 0-9                | Muy bueno            | 5              | 3-6% |
|                 | 9 a 18             | Bueno                | 4              |      |
|                 | 18-25              | Regular              | 3              |      |

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)

Asimismo, el precitado organismo, aportó el dato referido al tipo de suelo existente en la zona de estudio, categorizándolo con Franco-arenoso, es importante destacar que en la bibliografía consultada este tipo de suelo se considera “Malo” en lo que respecta a la construcción de un relleno sanitario, como se puede visualizar en la tabla 14.

Tabla 14. Tipo de suelo

| <b>Criterio</b> | <b>Subcriterio</b>             | <b>Clasificación</b> | <b>Puntaje</b> |                |
|-----------------|--------------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Tipo de suelo   | Arenoso o desconocido          | Muy malo             | 1              | Franco arenoso |
|                 | Arenoso arcilloso              | Malo                 | 2              |                |
|                 | Limoso                         | Regular              | 3              |                |
|                 | Arcilloso limoso-Franco limoso | Bueno                | 4              |                |
|                 | Arcilloso-Franco arcilloso     | Muy bueno            | 5              |                |

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)

En la figura 24, la temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes. Refieren que la temperatura media está por el orden de los 25,5 °C, lo que de acuerdo con la tabla 15, se considera muy bueno.

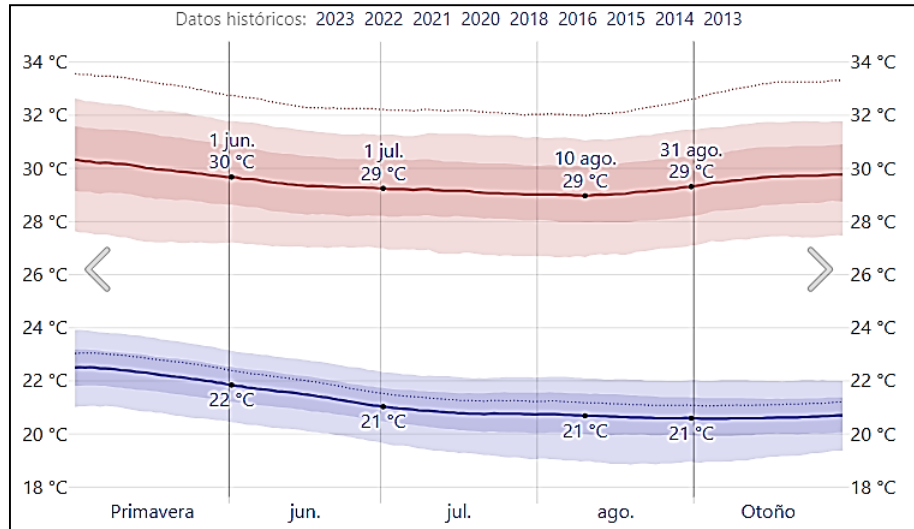


Figura 23. Histórico de temperatura del municipio San Diego

Fuente: (weatherspark, 2023)

Tabla 15. Temperatura

| Criterio       | Subcriterio | Clasificación | Puntaje |
|----------------|-------------|---------------|---------|
| Temperatura °C | 0-8         | Muy malo      | 1       |
|                | 8 a 11      | Malo          | 2       |
|                | 11 a 14     | Regular       | 3       |
|                | 14 a 17     | Bueno         | 4       |
|                | 17-26       | Muy bueno     | 5       |

25,5 °C

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)

Con respecto al criterio “Distancia a servicios básicos”, el sector “Mozanga” cuenta con electricidad, misma que sufre interrupciones constantes en el servicio, no dispone de un sistema de abastecimiento de agua confiable, es decir, la red existente fue construida de manera empírica por los mismos habitantes improvisados de la zona, además, no dispone de un sistema de recolección de aguas servidas, las viviendas poseen pozos sépticos sin sumideros, por esta razón se calificó como “Malo”. Ver tabla 16.

Tabla 16. Distancia a servicios básicos

| Criterio                           | Subcriterio | Clasificación | Puntaje |
|------------------------------------|-------------|---------------|---------|
| Distancia a servicios básicos (Km) | Alta        | Muy bueno     | 5       |
|                                    | Medio       | Bueno         | 4       |
|                                    | Baja        | Malo          | 2       |
|                                    | Muy Bajo    | Muy malo      | 1       |

X

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)

Como se expresó anteriormente, el material de excavación de las fosas que se utilizaría en el relleno sanitario, no puede ser aprovechado para el carpeteo diario. Por lo que se deberá utilizar material de préstamo, de acuerdo a la clasificación de este criterio, se tipifica como “Muy malo” tal como se señala en la tabla 17.

Tabla 17. Disponibilidad de material de cobertura

| <b>Criterio</b>                         | <b>Subcriterio</b>           | <b>Clasificación</b> | <b>Puntaje</b> |
|---|------------------------------|----------------------|----------------|
| Disponibilidad de material de cobertura | Arcillas marinas de estuario | Muy malo             | 1              |
|   | Cazaderos                    | Malo                 | 2              |
|   | Gabro                        | Regular              | 3              |
|   | Granito                      | Bueno                | 4              |
|   | Granodiorita                 | Muy bueno            | 5              |

Fuente: Tomado de (pandectasdigital, 2023) Adaptado por Kouefati (2023)

En resumen, de acuerdo a los valores que poseen cada uno de los criterios y a las ponderaciones realizadas de acuerdo a lo establecido en el decreto 230, se obtuvo un resultado de 2,92; lo que significa que la ubicación seleccionada para el relleno sanitario, se clasifica entre regular y mala. Ver tabla 18.

Tabla 18. Ponderación de criterios

| <b>Criterios</b>                            | <b>Ponderación</b> | <b>Observaciones</b> |
|---|--------------------|----------------------|
| 1. Distancia a recursos hídricos            | 2                  | No cumple            |
| 2. Distancia a áreas protegidas             | 5                  | Cumple               |
| 3. Uso de suelo                             | 2                  | No cumple            |
| 4. Precipitación                            | 5                  | Cumple               |
| 5. Distancia a áreas residenciales          | 2                  | No cumple            |
| 6. Distancias a centros de educación        | 1                  | No cumple            |
| 7. Distancia a vías de acceso               | 5                  | Cumple               |
| 8. Distancia a material de cobertura        | 1                  | No cumple            |
| 9. Pendientes                               | 5                  | Cumple               |
| 10. Tipo de suelo                           | 2                  | No cumple            |
| 11. Temperatura                             | 5                  | Cumple               |
| 12. Distancia a servicios básicos           | 2                  | No cumple            |
| 13. Disponibilidad de material de cobertura | 1                  | No cumple            |
|   | 38                 |                      |
| <b>Total</b>                                | <b>2,92</b>        |                      |

Fuente: Kouefati (2023)

### 4.3. Fase III. Evaluación de los requerimientos técnicos, ambientales, económicos y sociales del sitio para la ubicación de un relleno sanitario.

#### Tamaño del proyecto

Por lo general, los rellenos sanitarios se diseñan con varias fosas con la finalidad de que su vida útil se extienda más allá de los 10 años debido al elevado costo de construcción y mantenimiento. En este caso, los resultados preliminares están mostrando que en el sector seleccionado, no se debería construir el sitio de disposición final de los residuos y desechos sólidos del municipio San Diego.

Tabla 19. Factores condicionantes del proyecto

| Recursos Humanos   | Recurso de materiales   | Maquinaria   | Recurso Institucional   | Recurso Jurídico  |
|--|---|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tutor de la investigación</li> <li>• Investigadoras</li> <li>• Ingeniero Civil</li> <li>• Trabajadores de mantenimiento.</li> <li>• Personal capacitado para manejar residuos y desechos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material didáctico para instruir a los operarios.</li> <li>• Guantes, bolsas y sacos adecuados para la manipulación y traslado de residuos y desechos.</li> <li>• Contenedores para desechos.</li> <li>• Palas, mangueras, cepillos y herramientas para limpieza.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retroexcavadora</li> <li>• Payloader</li> <li>• Maquinaria pesada en general para movimiento de tierra</li> <li>• Camiones volteo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidad José Antonio Páez</li> <li>• Alcaldía del municipio San Diego</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley de gestión integral de la basura (2010)</li> <li>• Gaceta Oficial 4044 (año 1988) Norma para proyectos, construcciones de edificaciones</li> <li>• <b>Decreto 230</b></li> </ul> |

Fuente: Kouefati (2023)

Al realizar la evaluación de los requerimientos técnicos, ambientales, económicos y sociales del sitio para la ubicación de un relleno sanitario. Se resalta el decreto 230, debido a que en función de los datos obtenidos en la investigación, no existe un cumplimiento cabal de este decreto para establecer la ubicación del relleno sanitario en el sector Mozanga. Por lo que el investigador considera que “no cumple” con los requerimientos señalados. Es por ello, que no se continuó con la determinación de los demás factores del análisis de factibilidad.

#### 4.4. Fase IV. Instauración de los lineamientos para el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario como energía eléctrica alternativa

Para el cálculo de la captura de biogás se necesita conocer la cantidad porcentual de residuos sólidos urbanos por tipos, que se depositan diariamente, estos valores solo pueden ser conocidos una vez que el relleno sanitario esté construido y se haya realizado la clausura de una fosa, actividad que se iniciaría luego del primer año de funcionamiento del sitio de disposición final. En el capítulo II, se detalla el procedimiento, procesamiento y cálculo de la energía eléctrica que se podría generar a partir del biogás, en este caso metano (CH<sub>4</sub>).

Al respecto, existe suficiente apoyo documental para construir la estructura necesaria para realizar el aprovechamiento, sin embargo, se debe tener en cuenta la localidad y cultura ecológica de la zona, con la finalidad de conocer con exactitud el porcentaje por tipo de residuo o desechos sólido para de esta manera poder diseñar el sistema de recolección de biogás que se adecue a las características de la basura generada en esa localidad.

De acuerdo a datos suministrado por el Instituto Nacional de Estadística, los valores porcentuales por tipo, se especifican en la tabla 20. Claro está que a nivel comercial, dependiendo del tipo de establecimiento se generarán más o menos desechos orgánicos que son la biomasa a partir de la cual se puede obtener biogás por digestión anaerobia, tomando en cuenta solo el gas metano es el aprovechable.

Tabla 20. Representación % por tipo de residuo o desecho

| <b>Tipo de Residuo o Desecho</b> | <b>Porcentaje</b> |
|----------------------------------|-------------------|
|                                  | <b>%</b>          |
| Aluminio y Hierro                | 2,88              |
| Vidrio                           | 0,91              |
| Otros                            | 0,22              |
| Papel y Cartón                   | 34,97             |
| Plástico                         | 61,03             |
| Total                            | 100,00            |

Fuente: Kouefati (2023)

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Este proyecto tuvo como objetivo trabajar a lo largo de todo su abordaje con el estudio de la factibilidad de ubicación de un relleno sanitario en el municipio San Diego del estado Carabobo. Para la localización se tomaron 13 criterios establecidos en el Decreto 230 de la legislación ambiental venezolana, por lo que se concluye:

1. A través del diagnóstico se pudo conocer que el manejo de la basura generada en el municipio San Diego, lo realiza la empresa FOSPUCA y cantidad diaria asciende a 80 toneladas, las cuales tienen como sitio de disposición final el relleno sanitario de La Guásima.
2. Al analizar el lugar establecido en el PDUL del municipio San Diego para la disposición final, denominado “Mozanga”, existen criterios o parámetros que están clasificados como “Malos o “Muy malos” lo que indica que el sitio seleccionado no cumple con los requisitos establecidos en la precitada normativa
3. Cuando se evalúan los requerimientos técnicos, ambientales, económicos y sociales del sitio para la ubicación de un relleno sanitario, la localidad seleccionada no debe ser considerada para darle el tipo de uso indicado en el PDUL del municipio San Diego, debido al incumplimiento del Decreto 230, que es el instrumento legal donde se establecen los criterios y subcriterios para la ubicación de un relleno sanitario.
4. Con respecto al aprovechamiento del biogás generado en un relleno sanitario como energía eléctrica alternativa, se puede señalar que la captura del biogás contribuye a reducir el impacto negativo en el ambiente y la salud de las comunidades, además de revalorizar los RSU por medio de una transformación que permite utilizarlos como recurso de energía renovable.

## **5.2. Recomendaciones**

Realizar un estudio de validación ambiental por parte de los entes competentes con la finalidad de que se estudie el sitio adecuado para la ubicación de los rellenos sanitarios.

Tomar en cuenta, además, de los parámetros establecidos en el Decreto 230, la dirección del viento en el sector que vaya a ser seleccionado para este tipo de emplazamiento.

Instruir a las comunidades sobre las técnicas de reciclaje, para de esta manera aumentar la vida útil del relleno sanitario y que el uso de este combustible renovable, que se obtiene a partir de residuos orgánicos, es una de las claves para la descarbonización de la industria y el transporte.

## REFERENCIAS

- AEC. (30 de Abril de 2014). *Reducción del Riesgo de Desastres*. Obtenido de <http://www.acs-aec.org/index.php?q=es/content/reduccion-del-riesgo-de-desastres>
- Albán, I. (Julio-Diciembre de 2022). Caracterización de residuos sólidos municipales y diseño de relleno sanitario. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 4(7), 22-33. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de <https://difusioncientifica.info/index.php/difusioncientifica/article/view/63/120>
- alcaldíadesandiego. (2023). *PDUL San Diego*. Obtenido de <http://www.alcaldiadesandiego.gob.ve/alcaldia.php>
- Andrade, A., Tibaguirá, J., & Restrepo, A. (3 de Marzo de 2018). *Estimación de biogás de relleno sanitario, caso de estudio: Colombia*. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://www.semanticscholar.org/paper/Estimaci%C3%B3n-de-biog%C3%A1s-de-relleno-sanitario%2C-caso-de-Andrade-Tibaquir%C3%A1/d9cc2dc7e557e81651c5cdd0e36e4bfdd58a80af>
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación* (6ta ed.). VENEZUELA: EPÍSTEME. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/301894369\\_EL\\_PROYECTO\\_DE\\_INVESTIGACION\\_6a\\_EDICION](https://www.researchgate.net/publication/301894369_EL_PROYECTO_DE_INVESTIGACION_6a_EDICION)
- asambleanacional. (2023). *Ley de Gestión Integral de la Basura*. Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de <https://www.asambleanacional.gob.ve/leyes/sancionadas/ley-de-gestion-integral-de-la-basura>
- Ayisi, P., Nogonda, T., & Kanyarusoke, K. (2022). Tecnologías actuales de vertederos y perspectivas de desarrollo de generadores de biogás basados en vertederos para países africanos. *ScienceDirect*, 56(4), 1865-1871. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321070619>
- Balestrini, M. (2006). *Como se elabora el proyecto de Investigación* (7ma ed.). Caracas, Venezuela: Consultores Asociados. Obtenido de [https://issuu.com/sonia\\_duarte/docs/como-se-elabora-el-proyecto-de-inve](https://issuu.com/sonia_duarte/docs/como-se-elabora-el-proyecto-de-inve)

- bancomundial. (20 de Septiembre de 2018). *Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes*. Recuperado el 29 de Mayo de 2023, de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Belalcázar, I. (Juni-Diciembre de 2019). Identificación de áreas óptimas para la localización de un relleno sanitario en las subregiones norte y oriente del Valle del Cauca. *Entorno geográfico*, 18, 46-78. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de [https://www.researchgate.net/profile/Entorno-Geografico/publication/353483604\\_Identificacion\\_de\\_areas\\_optimas\\_para\\_la\\_localizacion\\_de\\_un\\_relleno\\_sanitario\\_en\\_las\\_subregiones\\_norte\\_y\\_oriente\\_del\\_Valle\\_del\\_Cauca/links/61000fef1e95fe241a9156d1/Identificacion](https://www.researchgate.net/profile/Entorno-Geografico/publication/353483604_Identificacion_de_areas_optimas_para_la_localizacion_de_un_relleno_sanitario_en_las_subregiones_norte_y_oriente_del_Valle_del_Cauca/links/61000fef1e95fe241a9156d1/Identificacion)
- BID. (2022). *Proyectos de Orden por la que se aprueban las bases reguladoras y programas de incentivos para la concesión de ayudas a proyectos singulares de instalaciones de biogás, en el marco del PRTR y de Resolución para una primera convocatoria*. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://energia.gob.es/es-es/Participacion/Paginas/DetalleParticipacionPublica.aspx?k=486>
- Blanco, G., Santalla, E., Córdova, V., & Levy, A. (18 de Marzo de 2017). *Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico*. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://www.semanticscholar.org/paper/Generaci%C3%B3n-de-electricidad-a-partir-de-biog%C3%A1s-de-Un-Blanco-Santalla/b7341bba8af618858bc374fd108c14fef5f48c4b>
- Camargo, F. (Octubre-Diciembre de 2019). El relleno sanitario Doña Juana en Bogotá: la producción política de un paisaje tóxico, 1988-2019. *Historia crítica*(74). Recuperado el 11 de Mayo de 2023, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-16172019000400127](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-16172019000400127)
- Cárdenas. (27 de Abril de 2020). *Descubre 5 técnicas de análisis de datos para aumentar la precisión de tus informes de resultados*. Obtenido de <https://rockcontent.com/es/blog/tecnicas-de-analisis-de-datos/>

- cepal. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40407/1/S1500804\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40407/1/S1500804_es.pdf)
- cepal. (2018). *Guía general para a gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Recuperado el 29 de Mayo de 2023, de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40407/1/S1500804\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40407/1/S1500804_es.pdf)
- Colmenares, M. (07 de Diciembre de 2018). *Proyecto factible* . Obtenido de <https://floridaglobal.university/tu-empresa-necesita-un-proyecto-factible/?lang=es#:~:text=Un%20proyecto%20factible%20es%2C%20como,o%20capital%20porque%20son%20alcanzables>.
- corpoelec. (30 de Diciembre de 2010). *Ley de gestión integral de la basura*. Recuperado el Mayo 11 de 2023, de <http://www.corpoelec.gob.ve/sites/default/files/ley-de-gestion-integral-de-la-basura.pdf>
- Cruz, X. (2022). *Diseño de un relleno sanitario con captura de biogás para el aprovechamiento de los residuos sólidos municipales en el distrito La Coipa-Cajamarca*. [Trabajo de grado], Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Cajamarca-Perú. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4978/1/TL\\_CruzCabreraXimena.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4978/1/TL_CruzCabreraXimena.pdf)
- docs.venezuela. (2005). *Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio*. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://docs.venezuela.justia.com/federales/leyes-organicas/ley-organica-para-la-planificacion-y-gestion-de-la-ordenacion-del-territorio.pdf>
- Duarte, J., & Parra, E. (2014). *Lo que debes saber sobre un trabajo de investigación* (3ra ed.). Maracay, Venezuela.
- el-carabobeno. (02 de Diciembre de 2016). *Balance de afectados por la vaguada supera las seis mil familias*. Obtenido de <https://www.el-carabobeno.com/balance-afectados-vaguada-superan-las-seis-mil-familias/>
- Ershad, A. (2020). *Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications & Components*. Ananda Chandra College,

- Jalpaiguri, [https://www.researchgate.net/publication/340182760\\_Geographic\\_Information\\_System\\_GIS\\_Definition\\_Development\\_Applications\\_Components](https://www.researchgate.net/publication/340182760_Geographic_Information_System_GIS_Definition_Development_Applications_Components), 1-10.
- Escamilla, P. (2019). Eficiencia y confiabilidad de modelos de estimación de biogás en rellenos sanitarios. *Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 32-44. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://www.redalyc.org/journal/4760/476058342003/html/geniabioenergy>.
- geniabioenergy. (2022). *Generación de biogás en rellenos sanitarios, para producción energética*. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://geniabioenergy.com/el-biogas-industrial-como-alternativa-a-los-rellenos-sanitarios-de-vertederos/>
- Gredilla, B. (2020). *La gestión de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Valladolid*. [Trabajo de grado], Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado el 29 de Mayo de 2023, de [https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/45502/TFG\\_F\\_2020\\_49.pdf?sequence=1](https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/45502/TFG_F_2020_49.pdf?sequence=1)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2017). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México, México: Mac Graw Hill.
- IMP. (10 de Julio de 2014). *Drenaje Vial*. Obtenido de <http://casascomunalesgecosasa.blogspot.com/2014/07/detalles-de-cajones-viales.html>
- Kundaria, N., Mohanty, S., Varjani, S., & Ngo, H. (2021). Una revisión de enfoques integrados para residuos sólidos municipales por relevancia ambiental y económica: herramientas de monitoreo, tecnologías e innovaciones estratégicas. *Bioresource Technology*, 4, 342. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de [https://www.researchgate.net/publication/354729681\\_A\\_review\\_on\\_integrated\\_approaches\\_for\\_municipal\\_solid\\_waste\\_for\\_environmental\\_and\\_economical\\_relevance\\_Monitoring\\_tools\\_technologies\\_and\\_strategic\\_innovations](https://www.researchgate.net/publication/354729681_A_review_on_integrated_approaches_for_municipal_solid_waste_for_environmental_and_economical_relevance_Monitoring_tools_technologies_and_strategic_innovations)
- lurconsultores. (2023). *Legislación Ambiental - Venezuela*. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://www.lurconsultores.com/legislacion/legislacion-ambiental-venezuela/>
- Marquez, J. (28 de Noviembre de 2016). *Drenaje Vial*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/LeonardoMarquez/drenajes-viales-69601657>
- matrizfoda. (2023). *La matriz FODA*. Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de <https://www.matrizfoda.com/dafo/>

- Morales, S., & Rodríguez, A. (2016). *Evaluación geológica ambiental para ubicar un relleno sanitario manual en la parroquia Mene de Mauroa, Venezuela*. [Trabajo de postgrado], Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo, Maracaibo. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de <https://www.redalyc.org/journal/2235/223545820006/html/>
- Ortiz, D. (2022). *Análisis sobre Producción y Captura de Biogás en Relleno Sanitario: Una Revisión*. [Trabajo de ascenso], Unidades tecnológicas de Santander, Bucaramanga-Colombia. Recuperado el 11 de Mayo de 2023, de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/9073>
- pandectasdigital. (2023). *Normas Sanitarias para Proyecto y Operación de un Relleno Sanitario de Residuos Sólidos de Índole Atóxico*. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://pandectasdigital.blogspot.com/2017/04/normas-sanitarias-para-proyecto-y.html>
- Peña, G., & Davila, G. (2020). *Purificación del Biogás para la producción de Biometano, a través de sistemas de filtración de CO<sub>2</sub> y vapor de agua*. [Trabajo de grado], Universidad Católica de Santa María, Venezuela. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de [https://www.researchgate.net/publication/346515058\\_Purificacion\\_del\\_Biogas\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_Biometano\\_a\\_traves\\_de\\_sistemas\\_de\\_filtracion\\_de\\_CO2\\_y\\_vapor\\_de\\_agua](https://www.researchgate.net/publication/346515058_Purificacion_del_Biogas_para_la_produccion_de_Biometano_a_traves_de_sistemas_de_filtracion_de_CO2_y_vapor_de_agua)
- Peñañiel, H. (2021). *Modelo de Elevación Digital(MED) en la selección de sitios de Rellenos Sanitarios del Cantón Paján*. [Trabajo de grado], Universidad Estatal del sur de Manabí, Manabí-Ecuador. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3002/1/PROYECTO%20FINAL%20D E%20TITULACION-%20HENRY%20PE%c3%91AFIEL.pdf>
- Pérez, D., & Rodríguez, P. (2021). *Aprovechamiento de un sistema híbrido biogás – solar en la zona del relleno sanitario “El Carrasco” para la generación de energía eléctrica*. [Trabajo de grado], Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/14064>
- Quiroa, M. (1 de Junio de 2020). *Estudio de factibilidad*. Recuperado el 11 de Mayo de 2023, de <https://economipedia.com/definiciones/estudio-de-factibilidad.html>
- Rivera, N., & Mendoza, N. (5 de Abril de 2019). *Tratamientos aplicados y posible aprovechamiento de los residuos sólidos, barrio la amistad, guanare, estado portuguesa,*

- venezuela. *Revista AIDIS*, 12(1), 153-168. Recuperado el 21 de Junio de 2023, de <http://revistas.unam.ve/index.php/aidis/article/view/60854>
- Rodríguez, A., & Baca, K. (Mayo de 2021). Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU): análisis de una década de gestión en países de Europa y América. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 42(1). Recuperado el 29 de Mayo de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8714767.pdf>
- Rodríguez, E. (Febrero de 2022). Crisis y gestión de desechos y residuos: un problema multi-dimensional. *Informe de análisis del Observatorio de Ecología Política de Venezuela*(1), 55. Recuperado el 21 de Junio de 2023, de [https://ecopoliticavenezuela.org/wp-content/uploads/2022/04/Situacio%CC%81n-socioambiental-de-Venezuela-2021\\_ConsolidadoFinal.pdf](https://ecopoliticavenezuela.org/wp-content/uploads/2022/04/Situacio%CC%81n-socioambiental-de-Venezuela-2021_ConsolidadoFinal.pdf)
- Rus, E. (09 de Diciembre de 2020). *Investigación documental*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-documental.html>
- saber. (2018). *Conservación de suelos y agua. Una premisa del desarrollo sustentable* (2da edición digital ed.). Caracas, Venezuela: CDCH-UCV. Recuperado el 29 de Mayo de 2023, de <http://saber.ucv.ve/omp/index.php/editorialucv/catalog/download/11/7/44-1?inline=1>
- scielo. (Julio-Septiembre de 2013). *La entrevista, recurso flexible y dinámico*. Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-50572013000300009](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-50572013000300009)
- slideshare. (13 de Noviembre de 2010). *Dimensión ambiental de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela*. Recuperado el 11 de Mayo de 2023, de <https://www.slideshare.net/harangu/legislacin-ambiental>
- Tamayo, & Tamayo. (2012). *El proceso de la investigación científica* (4ta ed.). México: Limusa. Obtenido de [https://books.google.co.ve/books?id=BhymmEqkKJwC&printsec=frontcover&dq=tamayo+y+tamayo+m.\(2006\).+t%C3%A9cnicas+de+investigaci%C3%B3n.\(2a+edici%C3%B3n\).+m%C3%A9xico+editorial+mc+graw+hill&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiS8ZbYx4j6AhVMMEQIHgDSEQuwV6BAgJEAY#v=one](https://books.google.co.ve/books?id=BhymmEqkKJwC&printsec=frontcover&dq=tamayo+y+tamayo+m.(2006).+t%C3%A9cnicas+de+investigaci%C3%B3n.(2a+edici%C3%B3n).+m%C3%A9xico+editorial+mc+graw+hill&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiS8ZbYx4j6AhVMMEQIHgDSEQuwV6BAgJEAY#v=one)

- Tamayo-Tamayo, M. (2006). *El Proceso de Investigación Científica* (Cuarta ed.). México: LIMUSA. Obtenido de [https://www.academia.edu/17470765/EL\\_Proceso\\_De\\_Investigacion\\_Cientifica\\_Mario\\_Tamayo\\_Y\\_Tamayo\\_1](https://www.academia.edu/17470765/EL_Proceso_De_Investigacion_Cientifica_Mario_Tamayo_Y_Tamayo_1)
- Taylhardat, L. (2015). *Diseño nivel conceptual, una planta de valorización energética de los Residuos*. [Trabajo de postgrado], Universidad Central de Venezuela, Maracay. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de [http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/12643/1/T026800013750-0-Tesis\\_Postgrado\\_Leonardo\\_Taylhardat-000.pdf](http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/12643/1/T026800013750-0-Tesis_Postgrado_Leonardo_Taylhardat-000.pdf)
- ucr. (13 de Noviembre de 2018). *Rellenos sanitarios: ¿una bomba de tiempo para el ambiente?* Recuperado el 11 de Mayo de 2023, de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2018/11/13/rellenos-sanitarios-una-bomba-de-tiempo-para-el-ambiente.html>
- unep. (20 de Agosto de 2021). *Las emisiones de metano están acelerando el cambio climático. ¿Cómo podemos reducirlas?* Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/las-emisiones-de-metano-estan-acelerando-el-cambio-climatico-como>
- UPEL. (2004). *Una estrategia metodológica para el proyecto factible*. Obtenido de <https://revistas.upel.edu.ve/index.php/entretemas/article/viewFile/1032/363>
- UPEL. (2014). *Proyecto Factible*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/410/41030203.pdf>
- Vaca, M. (31 de Octubre de 2020). *Crecimiento poblacional: los grandes retos de las ciudades*. Recuperado el 8 de Marzo de 2023, de <https://cepei.org/documents/crecimiento-poblacional-los-grandes-retos-de-las-ciudades/>
- weatherspark. (2023). *El clima en San Diego*. Recuperado el 20 de Octubre de 2023, de <https://es.weatherspark.com/y/27567/Clima-promedio-en-San-Diego-Venezuela-durante-todo-el-a%C3%B1o>

