



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE INGENIERÍA BÁSICA PARA UN SITIO DE
DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS
MUNICIPALES PARA LA COMUNIDAD DE SANTA FE DE
LA LAGUNA, MICHOACÁN**

TESIS

Que para obtener el título de:

Ingeniero Civil

Presenta:

Edgar Angel Bautista Barajas

Asesora:

Ing. Sonia Aguilera Juárez



AGRADECIMIENTOS

Estoy eternamente agradecido con mis padres Tomás Bautista Mejía y Margarita Barajas Fermín por todo su amor y apoyo incondicional, por siempre ver primero por nuestro bienestar y futuro, el mío y el de mis hermanos. Por darme la vida y la educación necesaria para poder ser un miembro productivo para la sociedad, porque yo sin ellos no sería nadie.

Agradezco a mis abuelos y tíos que también me han apoyado incondicionalmente, me han cuidado y me han dado consejos que siempre llevaré presentes.

Agradezco a mis hermanos, que me dan fuerzas para seguir adelante porque muchas de mis decisiones las he tomado pensando en ellos, me llenan de felicidad, satisfacción y orgullo el saber que están siguiendo mis pasos, la de tener una carrera profesional y que estoy cumpliendo la misión de ser un ejemplo a seguir para ellos sin mermar los méritos que cada uno ha conseguido por su propia cuenta. También les agradezco todo el amor y cuidado que me han brindado.

Agradezco a mi mejor amigo Heriberto Hernández Riaño por brindarme su amistad, su apoyo, su lealtad y la confianza que en ningún otro lado he encontrado. Y en general a todas las amistades que he hecho en el trayecto.

Agradezco a mi tutora Sonia Aguilera Juárez por su dedicación, confianza y apoyo que me brindó al realizar esta tesis.

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por permitirme ser parte de la maravillosa Facultad de Ingeniería Civil, gracias a todo el personal docente por los conocimientos y consejos que siempre llevaré presentes y que gracias a ellos y a la institución el día de hoy soy Ingeniero Civil. Les doy gracias también a mis excompañeros de clases que ahora son colegas, fue todo un placer vivir con ustedes ésta etapa, a todos ellos les deseo éxito.

Éste logro no sólo es mío, sino también de todas las personas mencionadas anteriormente y así como ellos estuvieron siempre para mí yo también estaré siempre para ellos.



ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	vii
OBJETIVOS	1
OBJETIVO GENERAL	1
OBJETIVOS PARTICULARES.....	1
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES	3
2.1. MARCO FÍSICO.....	3
2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	3
2.1.2. CLIMA.....	4
2.1.3. DIVERSIDAD BIOLÓGICA.....	15
2.1.4. USOS DEL SUELO	19
2.1.5. GEOLOGÍA	20
2.1.6. EDAFOLOGÍA.....	21
2.1.7. TOPOGRAFÍA.....	21
2.1.8. SUELOS DOMINANTES	23
2.1.9. HIDROGRAFÍA.....	25
2.2. MARCO SOCIAL.....	26
2.2.1. HISTORIA	26
2.2.2. POBLACIÓN	28
2.2.3. EDUCACIÓN.....	29
2.2.4. RELIGIÓN.....	29
2.2.5. ACTIVIDADES ECONÓMICAS.....	30
2.2.6. BIENES Y SERVICIOS.....	31
2.2.7. USOS Y COSTUMBRES.....	34
2.2.8. PRECEDENTES.....	38
2.2.9. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	39
CAPÍTULO III. ESTUDIOS PRELIMINARES	50
3.1. ESTUDIO DEMOGRÁFICO	50
3.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES	51



3.2.1. TASA DE GENERACIÓN.....	51
3.2.2. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN MICHOCÁN	52
3.3. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS	52
3.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL.....	53
3.5. PROPUESTA PARA LA UBICACIÓN DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL	53
3.6. ESTUDIOS Y ANÁLISIS PREVIOS REQUERIDOS PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO	56
3.6.1. ESTUDIO GEOLÓGICO.....	57
3.6.2. ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS:.....	57
3.7. ESTUDIOS Y ANÁLISIS EN EL SITIO, PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL	57
3.7.1. ESTUDIO TOPOGRÁFICO	58
3.7.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO	58
3.7.3. EVALUACIÓN GEOLÓGICA.....	58
3.7.4. EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	58
3.8. ESTUDIOS DE GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN	58
3.8.1. GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y DE MANEJO ESPECIAL.....	59
3.8.2. GENERACIÓN DE BIOGÁS.....	59
3.8.3. GENERACIÓN DEL LIXIVIADO	59
CAPÍTULO IV. MEMORIA DESCRIPTIVA.....	60
4.1. ANÁLIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA PROPUESTA A LAS ESPECIFICACIONES DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003	60
4.2. VIDA ÚTIL.....	61
4.2.1. CATEGORÍA.....	62
4.2.2. REQUISITOS MÍNIMOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL CATEGORÍA D	62
4.3. MÉTODO DE OPERACIÓN	62
4.4. ÁREA REQUERIDA PARA EL RELLENO SANITARIO.....	65
4.5. SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN.....	68
4.6. CELDAS	68
4.6.1. PROCESO DE DEGRADACIÓN	70
4.7. MATERIAL DE COBERTURA.....	72
4.8. LIXIVIADO	73
4.8.1. COMPOSICIÓN DEL LIXIVIADO	73



4.8.2. CANTIDAD DE LIXIVIADO	75
4.9. BIOGÁS	79
4.10. MAQUINARIA Y PERSONAL	79
4.11. OBRAS COMPLEMENTARIAS	83
4.12. CLAUSURA DEL SITIO.	84
CAPÍTULO V. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	85
5.1. OBJETIVO	85
5.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERSONAL	85
5.3. REGLAMENTO INTERNO DEL RELLENO SANITARIO.....	88
5.4. NORMAS DE SEGURIDAD, HIGIENE Y PREVENCIÓN DE ACCIDENTES.....	91
5.5. PLANES DE CLAUSURA.....	95
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
6.1. CONCLUSIONES	98
6.2. RECOMENDACIONES	98
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	99
FUENTES CONSULTADAS	104



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Macrolocalización de Santa Fe de la Laguna.....	3
<i>Figura 2.</i> Micro localización de Santa Fe de la Laguna.....	4
<i>Figura 3.</i> Clima de Santa Fe de la Laguna.....	5
<i>Figura 4.</i> Temperatura máxima y mínima promedio.....	6
<i>Figura 5.</i> Temperatura promedio por hora.....	6
<i>Figura 6.</i> Categorías de nubosidad.....	7
<i>Figura 7.</i> Probabilidad diaria de precipitación.....	8
<i>Figura 8.</i> Precipitación de lluvia mensual promedio.....	9
<i>Figura 9.</i> Horas de luz natural y crepúsculo.....	9
<i>Figura 10.</i> Salida del sol y puesta de sol con crepúsculo y horario de verano.....	10
<i>Figura 11.</i> Niveles de comodidad de la humedad.....	11
<i>Figura 12.</i> Velocidad promedio del viento.....	12
<i>Figura 13.</i> Dirección del viento.....	12
<i>Figura 14.</i> Tiempo que pasa en diferentes bandas de temperatura y el periodo de cultivo.....	13
<i>Figura 15.</i> Grados días de crecimiento.....	14
<i>Figura 16.</i> Energía solar de onda corta incidente diaria promedio.....	15
<i>Figura 17.</i> Uso del suelo y vegetación de Santa Fe de la Laguna.....	20
<i>Figura 18.</i> Geología.....	21
<i>Figura 19.</i> Modelo digital de elevación de Santa Fe de la Laguna.....	22
<i>Figura 20.</i> Mapa de pendientes de Santa Fe de la Laguna.....	23
<i>Figura 21.</i> Suelos dominantes de Santa Fe de la Laguna.....	25
<i>Figura 22.</i> Hidrografía de Santa Fe de la Laguna.....	26
<i>Figura 23.</i> Bandera P'urhépecha “ <i>Juchari Uinapekua</i> ” (Nuestra Fuerza).....	28
<i>Figura 24.</i> Fiesta Patronal del “Señor de la Exaltación” en Santa Fe de la Laguna.....	36
<i>Figura 25.</i> Día de muertos en Santa Fe de la Laguna.....	37
<i>Figura 26.</i> Tambos para la basura en la plaza de Santa Fe de la Laguna.....	40
<i>Figura 27.</i> Templo de Santa Fe de la Laguna.....	41
<i>Figura 28.</i> "Hospital Pueblo" de Santa Fe de la Laguna.....	41
<i>Figura 29.</i> Servicio de limpieza en el parque de Chupícuaro.....	42
<i>Figura 30.</i> Recipientes para la basura en Chupícuaro.....	42
<i>Figura 31.</i> Tiradero de Chupícuaro.....	43
<i>Figura 32.</i> Letrero de no tirar basura de Chupícuaro.....	43
<i>Figura 33.</i> Manejo de Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos en la clínica de Santa Fe de la Laguna.....	44
<i>Figura 34.</i> Guía para el manejo de Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos de la clínica de Santa Fe de la Laguna.....	45
<i>Figura 35.</i> Servicio de recolección de residuos sólidos municipales en Santa Fe de la Laguna.....	46
<i>Figura 36.</i> Río intermitente ubicado a 50 metros del basurero de Quiroga.....	47
<i>Figura 37.</i> Basurero de Quiroga.....	49
<i>Figura 38.</i> Población proyectada al 2039.....	51
<i>Figura 39.</i> Ubicación del sitio de disposición final propuesto.....	54
<i>Figura 40.</i> Reconocimiento en campo del sitio.....	55
<i>Figura 41.</i> Modelo digital de elevación enfocado a Santa Fe de la Laguna.....	56
<i>Figura 42.</i> Relleno Sanitario Según el Método de Trinchera.....	63



Figura 43. Relleno Sanitario Según el Método de Área.....	64
Figura 44. Relleno Sanitario Según el Método Combinado.....	64
Figura 45. Plano arquitectónico del sitio de disposición final.....	67
Figura 46. Características de gas y lixiviado de un relleno sanitario.....	72
Figura 47. Tanque de almacenamiento de lixiviados.....	78
Figura 48. Cargador de Ruedas Compacto 906K.....	80
Figura 49. Camión Volteo De 7 m ³ International 4300 Mod 2013.....	80
Figura 50. Nissan NP300 2019.....	81
Figura 51. Sistema de roll off (gancho) modelo MC-4.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Crecimiento histórico poblacional de Santa Fe de la Laguna.....	50
Tabla 2. Resumen de los requisitos y especificaciones generales para los sitios de disposición final, de acuerdo con la categorización presentada en la NOM-083-SEMARNAT-2003.....	56
Tabla 3. Evaluación técnica del cumplimiento de las especificaciones del sitio propuesto.....	60
Tabla 4. Capacidad del sitio de disposición final a lo largo de la vida útil.....	61
Tabla 5. Categorías de los rellenos sanitarios.....	62
Tabla 6. Tabla para determinar el volumen y área que requerirá del relleno.....	65
Tabla 7. Tabla resuelta de análisis de volúmenes y áreas para el caso de Santa Fe de la Laguna.....	66
Tabla 8. Celdas.....	70
Tabla 9. Datos típicos sobre la composición de los lixiviados procedentes de rellenos sanitarios nuevos y maduros.....	74
Tabla 10. Valores típicos de parámetros de lixiviados, que varían de acuerdo a la etapa del proceso del relleno sanitario.....	75
Tabla 11. Precipitación media mensual de Santa Fe de la Laguna.....	77
Tabla 12. Lixiviados generados a lo largo de la vida útil.....	77
Tabla 13. Personal requerido para la operación del sitio.....	85



RESUMEN

La disposición final de residuos sólidos es uno de los principales problemas que tiene la comunidad de Santa Fe de la Laguna. El presente trabajo tiene como objetivo proponer un sitio de disposición final de residuos sólidos adecuado para dicha comunidad, perteneciente al municipio de Quiroga Michoacán; el cual debe cumplir con los requisitos de diseño y construcción establecidos en la Norma Oficial Mexicana "NOM-083-SEMARNAT-2003". La propuesta de Ingeniería Ambiental pretende mitigar la contaminación de los ecosistemas del lago de Pátzcuaro, ocasionada por la comunidad de Santa Fe de la Laguna en materia de residuos sólidos, debido a la inadecuada disposición final existente.

Dicha obra de ingeniería estaría cumpliendo con el Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de la Comunidad de Santa Fe de la Laguna en el apartado que contempla un relleno sanitario para la comunidad.

Palabras clave: disposición, residuos sólidos, relleno sanitario, norma, Santa Fe de la Laguna.

ABSTRACT

The final disposal of solid waste is one of the main problems that the community of Santa Fe de la Laguna has. The objective of this work is to propose a solid waste disposal site suitable for said community, belonging to the municipality of Quiroga Michoacán; which must comply with the design and construction requirements established in the Official Mexican Standard "NOM-083-SEMARNAT-2003". The Environmental Engineering proposal aims to mitigate the pollution of the ecosystems of Lake Pátzcuaro, caused by the community of Santa Fe de la Laguna in terms of solid waste, due to the inadequate final disposal.

This engineering work would be complying with the Urban Development Program of the Population Center of the Community of Santa Fe de la Laguna in the section that contemplates a sanitary landfill for the community.

Key Words: disposal, solid waste, sanitary landfill, norm, Santa Fe de la Laguna.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer un sitio de disposición final de residuos sólidos en la comunidad de Santa Fe de la Laguna, Michoacán; detallando los aspectos técnicos, así como el cumplimiento con las especificaciones y lineamientos marcados en la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final) considerando la tasa de generación de residuos de la localidad.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar las características físicas y socioeconómicas de Santa Fe de la Laguna, que será la comunidad beneficiada.
- Identificar las fuentes de generación de residuos sólidos dentro de la comunidad Santa Fe de la Laguna.
- Estimar la cantidad de residuos que se generan en la comunidad Santa Fe de la Laguna.
- Seleccionar el método de recolección idóneo en función de la factibilidad técnica y económica.
- Diseñar la “celda diaria tipo” de acuerdo a los volúmenes generados por la comunidad.
- Seleccionar el método de operación del sitio de disposición final, la ubicación, la capacidad, el equipo y personal necesario para su operación tomando en cuenta las características de la localidad.
- Estimar la cantidad de lixiviados que se generarán a lo largo de la vida útil y proponer un método de control.
- Mitigar el problema de la contaminación del suelo, aire y agua que provoca la falta de control adecuado de los residuos sólidos en la zona de estudio.



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

A partir la revolución industrial, la generación de residuos sólidos se ha convertido en un problema debido al cambio en los hábitos de producción y consumo, aún en las comunidades más remotas, que van encaminadas a métodos más complicados de producir bienes y servicios que satisfagan hasta la más mínima necesidad del ser humano, los cuales producen residuos cada vez más complejos y difíciles de degradar por la naturaleza. Actualmente organismos mundiales han establecido leyes para fomentar el cuidado y conservación de la naturaleza; desgraciadamente los logros son mínimos, más aún en países como México que mucho les falta para acatar ése tipo de responsabilidades, por lo que se tiene como panorama el aumento en la generación de residuos sólidos con el paso del tiempo, aunado al crecimiento constante de la población.

Lamentablemente, en México, el adecuado manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos es deficiente e inequitativo, ya que normalmente se les da prioridad a las ciudades con grandes concentraciones de población para dotarlas de equipamiento para ello, cuando lo ideal sería que todos los municipios y todas las poblaciones contaran con un buen manejo de residuos sólidos al igual que un sitio de disposición final adecuado, para de ésta manera preservar los ecosistemas y recursos naturales de manera igualitaria en nuestro país, de éste modo se puede mejorar las condiciones de vida para los mexicanos. En Michoacán sólo el 30% de los municipios cuentan con un relleno sanitario.

La cuenca del lago de Pátzcuaro presenta alto grado de deterioro, el cual ha sido tema de varios estudios que ya se han realizado; en los que se atribuyen diversos factores que han dado como resultado la eutrofización del lago, así como la deforestación de la cuenca que provoca erosión y azolve del lago, la descarga de aguas residuales por parte de las comunidades rivereñas, la acumulación de nutrientes a causa de la utilización de fertilizantes por parte del sector agricultor, la falta de un manejo adecuado de residuos sólidos, etc. Las personas de la segunda y tercera edad de Santa Fe de la Laguna que desconocen de éstas investigaciones y que presenciaron el sismo del 85, tienen la ideología que dicho terremoto fue la causa del grado de turbiedad que presenta en la actualidad, al ser sacudido el fondo del lago y que la pérdida del decremento en el nivel del agua se debe a que el sismo cerró o desvió las corrientes de agua que la alimentaban. Ellos fundamentan ésta hipótesis en el hecho de que la turbiedad no se presentó paulatinamente, si no que se presentó de la noche a la mañana, 2 semanas después del sismo y que previamente al sismo el lago presentaba aguas cristalinas, tal y como lo recuerdan las personas de ésas edades.

Al escuchar esto, uno que desgraciadamente no presencié aquel fenómeno, no puede evitar pensar en la posibilidad de que su hipótesis puede ser cierta, añadiéndole que a lo mejor, el sismo pudo exponer minerales que había en el lago o en las corrientes de donde ésta se alimentaba, aunque ése ya sería tema de otra investigación. Como sea que haya sido, si el deterioro fue a causa de las investigaciones antes mencionadas, sumándose a éstas la hipótesis de los habitantes de Santa Fe de la Laguna o sin ella, lo que sí es un hecho es que es una obligación de todas las localidades en conjunto mitigar y revertir el daño que le estamos haciendo a la cuenca del lago de Pátzcuaro. Todos los puntos anteriormente descritos fueron tomados en consideración en la elaboración de éste trabajo.



CAPÍTULO II. ANTECEDENTES

2.1. MARCO FÍSICO

2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La localidad de estudio se ubica al norte del estado de Michoacán de Ocampo, el cual es una de las 32 entidades federativas de México (figura 1). El estado tiene una superficie de 58,585 kilómetros cuadrados, colinda al norte con los estados de Guanajuato y Querétaro, al sur con Guerrero, al este con México, al oeste con Colima y Jalisco y al suroeste con el Océano Pacífico. Michoacán tiene 113 municipios (figura 2) y su capital es la ciudad de Morelia.



Figura 1. Macrolocalización de Santa Fe de la Laguna.

Fuente: capturado y adaptado de Mapas Windows 10.

A nivel estatal Santa Fe de la Laguna forma parte del municipio de Quiroga (clave geoestadística: 073), al igual que San Jerónimo Purenchécuaro, San Andrés Ziróndaro y cuatro rancherías: Caríngaro, Atzimbo, Sanambo e Icuacato. Limita al norte con el municipio de Coeneo, al este con el municipio de Morelia, al sur con el municipio de Tzintzuntzan y al oeste con el municipio de Erongarícuaro. Se encuentra a una distancia de 43 km a la ciudad de Morelia, a 3 km de la cabecera municipal de Quiroga sobre la carretera federal número 15 de Morelia-Guadalajara, a 10 km de Tzintzuntzan, a 26 km de Pátzcuaro, a 34 km de Zacapu y a 24 km de Erongarícuaro (Periodico Oficial, 2011).

Santa Fe de la Laguna tiene una superficie total 55.1 km² con un de un perímetro de 30.6 km (figura 2) (Cruz Lucas, 2013), está a 2,046 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), sus coordenadas son: 19°40'22.97"N (latitud), 101°33'22.60"O (longitud). Está rodeada de



cerros y montañas de los cuales el más alto es el Tzirate con 2,700 m.s.n.m. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 1991). Su código postal es 58431 y su clave lada es 454.

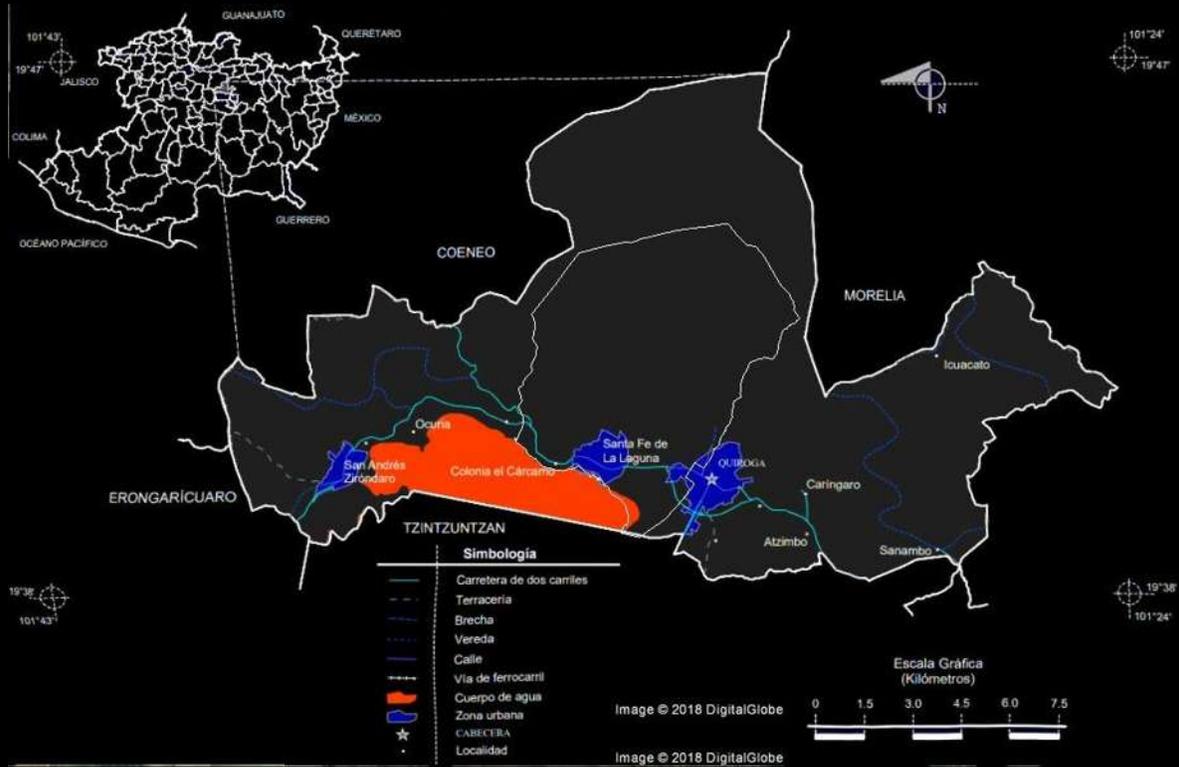


Figura 2. Micro localización de Santa Fe de la Laguna.

Fuente: adaptado de INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) con ayuda de Google Earth.

2.1.2. CLIMA

Su clima es templado con lluvias en verano (figura 3). Tiene una precipitación anual de 788.6 milímetros cúbicos y con temperaturas que oscilan de 4.9 a 25.6° centígrados. (Periodico Oficial, 2011)

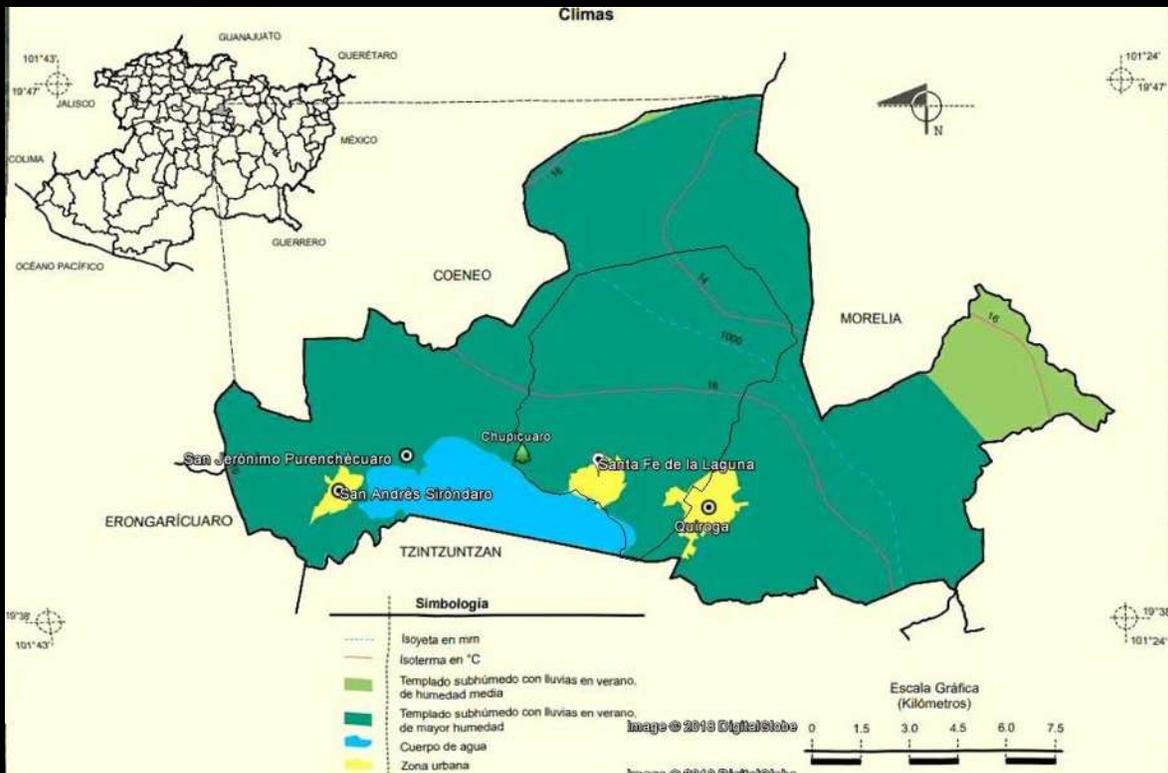


Figura 3. Clima de Santa Fe de la Laguna.

Fuente: adaptado de INEGI.

En Santa Fe de la Laguna, la temporada de lluvia es nublada, la temporada seca es parcialmente nublada y es cómodo durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 4 °C a 27 °C y rara vez baja a menos de 1 °C o sube a más de 31 °C.

En base a la puntuación de turismo, la mejor época del año para visitar Santa Fe de la Laguna para actividades de tiempo caluroso es desde mediados de abril hasta principios de junio.

Temperatura

La temporada templada dura 2.0 meses, del 7 de abril al 6 de junio, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 26 °C. El día más caluroso del año es el 10 de mayo, con una temperatura máxima promedio de 27 °C y una temperatura mínima promedio de 11 °C.

La temporada fresca dura 2.3 meses, del 26 de noviembre al 6 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 22 °C. El día más frío del año es el 8 de enero, con una temperatura mínima promedio de 4 °C y máxima promedio de 21 °C. (Weather Spark, 2016)

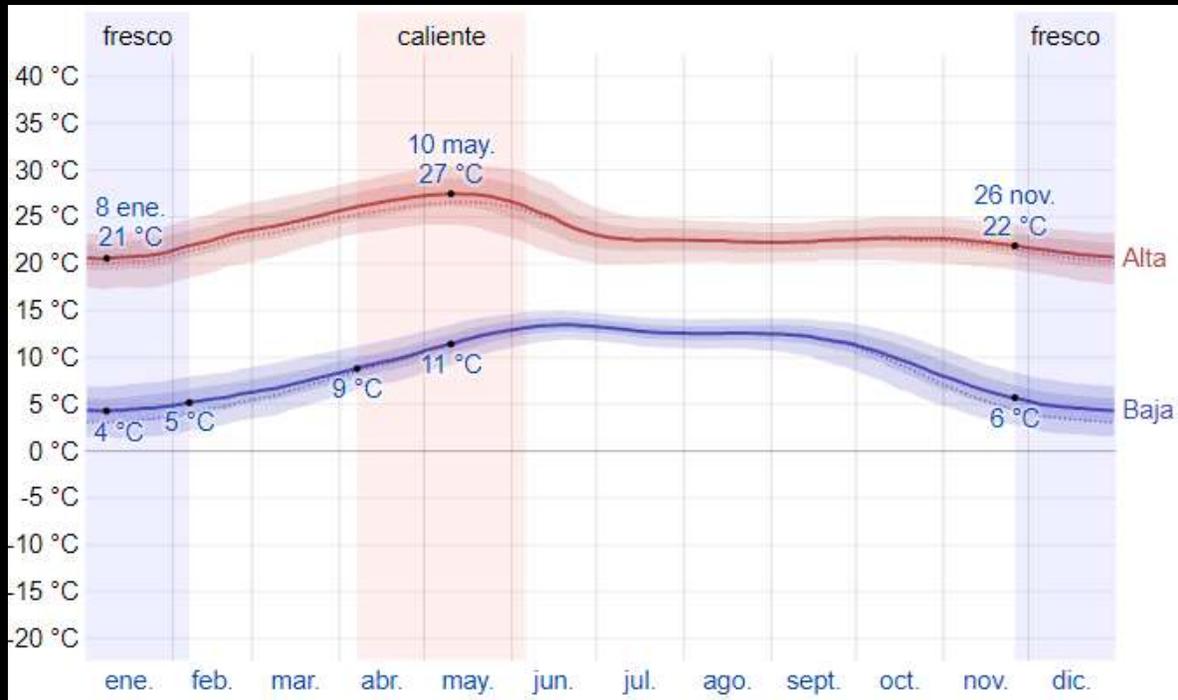


Figura 4. Temperatura máxima y mínima promedio.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: 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.

La figura 5 muestra una ilustración compacta de las temperaturas promedio por hora de todo el año. El eje horizontal es el día del año, el eje vertical es la hora y el color es la temperatura promedio para ese día, durante esa hora. (Weather Spark, 2016)

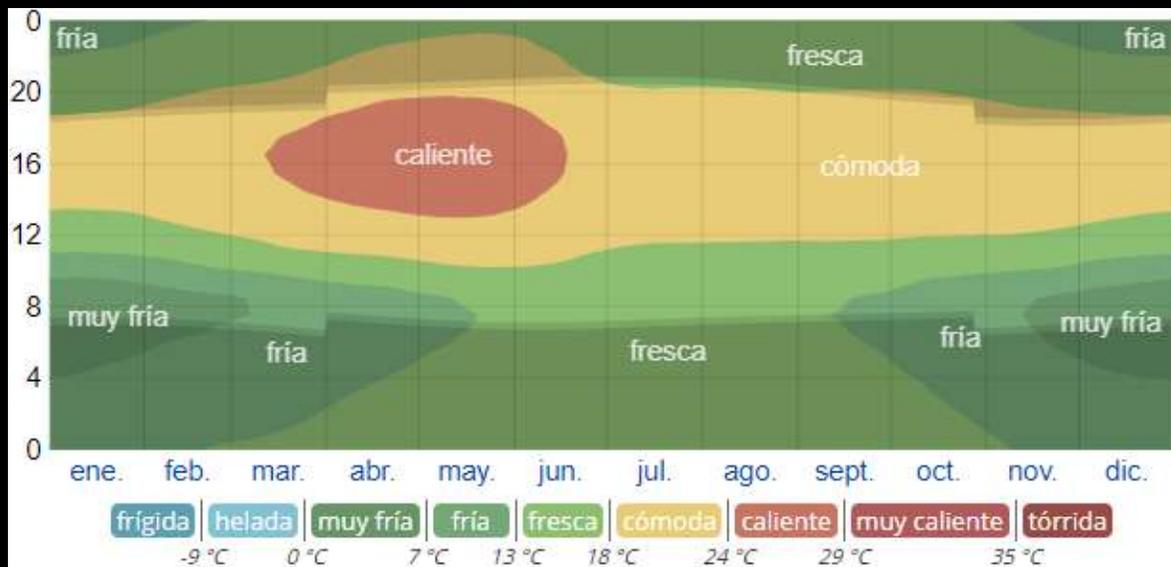


Figura 5. Temperatura promedio por hora.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Temperatura promedio por hora, codificada en colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.



Cliza, Bolivia (5.689 kilómetros de distancia) es el lugar extranjero lejano con temperaturas más similares a Santa Fe de la Laguna.

Nubes

En Santa Fe de la Laguna, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año.

La parte más despejada del año en Santa Fe de la Laguna comienza aproximadamente el 29 de octubre; dura 7.3 meses y se termina aproximadamente el 6 de junio. El 22 de febrero, el día más despejado del año, el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 65 % del tiempo y nublado o mayormente nublado el 35 % del tiempo.

La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 6 de junio; dura 4.7 meses y se termina aproximadamente el 29 de octubre. El 3 de septiembre, el día más nublado del año, el cielo está nublado o mayormente nublado el 91 % del tiempo y despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 9 % del tiempo (figura 6).



Figura 6. Categorías de nubosidad.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Porcentaje de tiempo pasado en cada banda de cobertura de nubes, categorizado por el porcentaje del cielo cubierto de nubes.

Precipitación

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Santa Fe de la Laguna varía muy considerablemente durante el año. (Weather Spark, 2016)



La temporada más mojada dura 4,0 meses, de 7 de junio a 6 de octubre, con una probabilidad de más del 38 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 75 % el 26 de agosto.

La temporada más seca dura 8,0 meses, del 6 de octubre al 7 de junio. La probabilidad mínima de un día mojado es del 1 % el 5 de abril.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 75 % el 26 de agosto (figura 7).



Figura 7. Probabilidad diaria de precipitación.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación, excluidas las cantidades ínfimas: sólo lluvia, sólo nieve, mezcla (llovió y nevó el mismo día).

Lluvia

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año. Santa Fe de la Laguna tiene una variación extremada de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 8.9 meses, del 8 de mayo al 5 de febrero, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 9 de julio, con una acumulación total promedio de 152 milímetros.

El periodo del año sin lluvia dura 3.1 meses, del 5 de febrero al 8 de mayo. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 11 de abril, con una acumulación total promedio de 2 milímetros (figura 8). (Weather Spark, 2016)

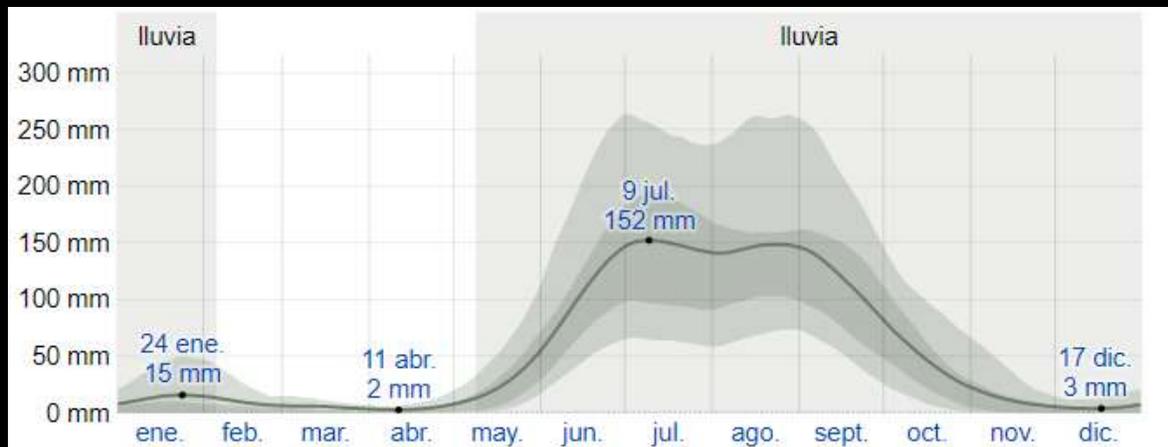


Figura 8. Precipitación de lluvia mensual promedio.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo móvil de 31 días centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. La línea delgada punteada es el equivalente de nieve en líquido promedio correspondiente.

Sol

La duración del día en Santa Fe de la Laguna varía durante el año. En 2018, el día más corto es el 21 de diciembre, con 10 horas y 57 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 13 horas y 19 minutos de luz natural (figura 9).



Figura 9. Horas de luz natural y crepúsculo.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Cantidad de horas durante las cuales el sol está visible (línea negra). De abajo (más amarillo) hacia arriba (más gris), las bandas de calor indican: luz natural total, crepúsculo (civil, náutico y astronómico) y noche total.

La salida del sol más temprana es a las 6:40 el 31 de marzo, y la salida del sol más tardía es 1 hora y 4 minutos más tarde a las 7:45 el 27 de octubre. La puesta del sol más temprana es a las 18:05 el 25 de noviembre, y la puesta del sol más tardía es 2 horas y 23 minutos más tarde a las 20:29 el 4 de julio (figura 10).

Se observó el horario de verano (HDV) en Santa Fe de la Laguna durante el 2018; comenzó en la primavera el 1 de abril, duró 6.8 meses, y se terminó en el otoño del 28 de octubre (figura 10). (Weather Spark, 2016)

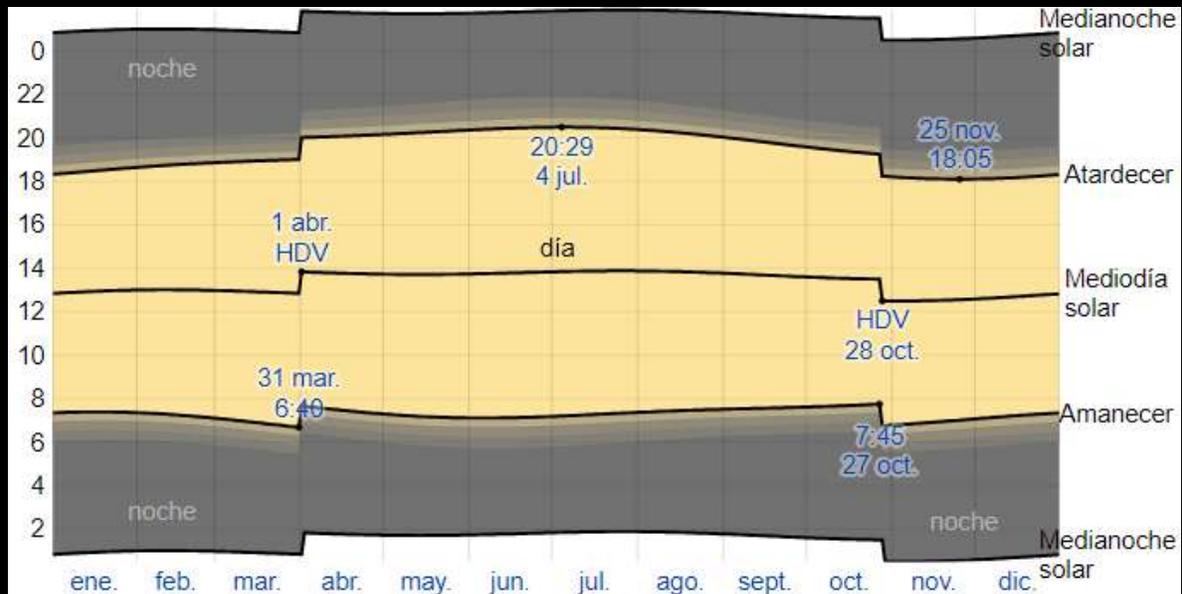


Figura 10. Salida del sol y puesta de sol con crepúsculo y horario de verano.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Día solar durante el año 2018. De abajo hacia arriba, las líneas negras son la medianoche solar anterior, las salida del sol, el mediodía solar, la puesta del sol y la siguiente medianoche solar. El día, los crepúsculos (civil, náutico y astronómico) y la noche se indican por el color de las bandas, de amarillo a gris. Las transiciones hacia y del horario de verano se indican con la sigla HDV.

Humedad

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El nivel de humedad percibido en Santa Fe de la Laguna, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante en 0 % (figura 11). (Weather Spark, 2016)

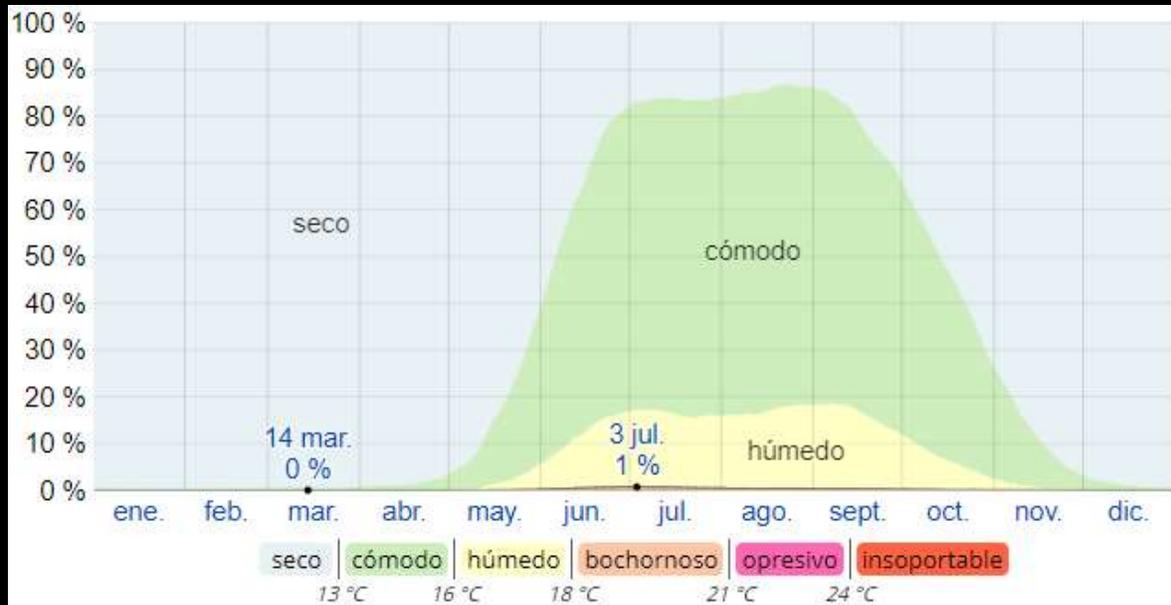


Figura 11. Niveles de comodidad de la humedad.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Porcentaje de tiempo pasado en varios niveles de comodidad de humedad, categorizado por el punto de rocío.

Viento

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Santa Fe de la Laguna tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 4.3 meses, del 16 de enero al 26 de mayo, con velocidades promedio del viento de más de 7.6 kilómetros por hora. El día más ventoso del año es el 29 de marzo, con una velocidad promedio del viento de 9.1 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 7.7 meses, del 26 de mayo al 16 de enero. El día más calmado del año es el 26 de julio, con una velocidad promedio del viento de 6.2 kilómetros por hora. (Weather Spark, 2016)

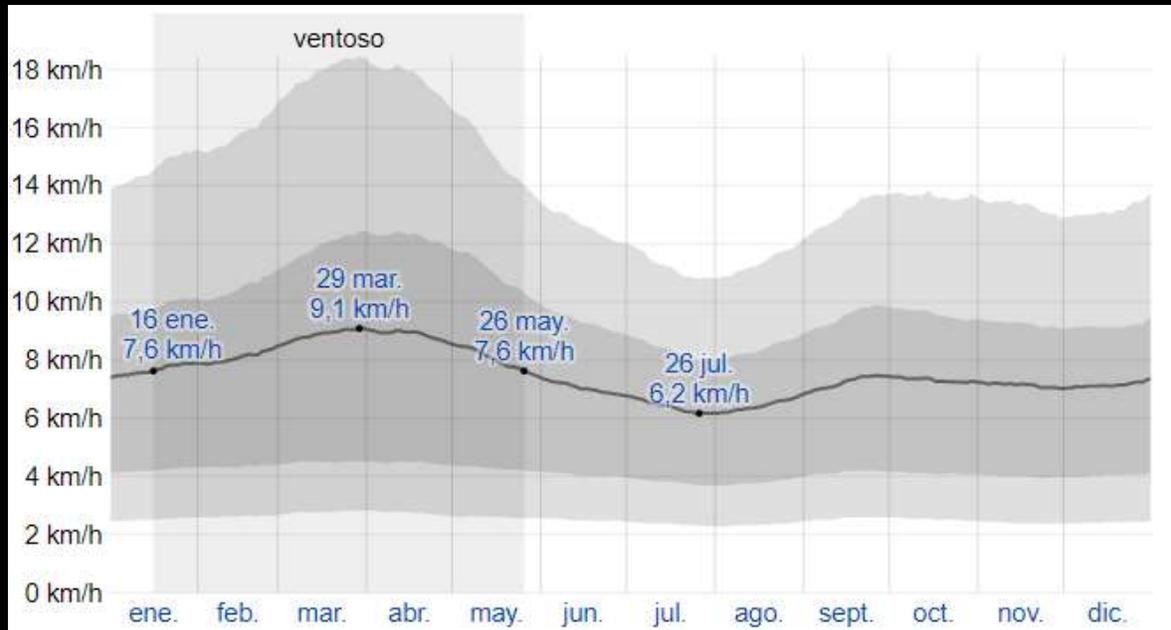


Figura 12. Velocidad promedio del viento.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Promedio de la velocidad media del viento por hora (línea gris oscuro), con las bandas de percentil 25° a 75° y 10° a 90°.

La dirección predominante promedio por hora del viento en Santa Fe de la Laguna varía durante el año.

El viento con más frecuencia viene del este durante 1.5 meses, del 9 de septiembre al 24 de octubre, con un porcentaje máximo del 38 % en 26 de septiembre. El viento con más frecuencia viene del norte durante 1.3 meses, del 24 de octubre al 3 de diciembre, con un porcentaje máximo del 31 % en 8 de noviembre. El viento con más frecuencia viene del sur durante 9.2 meses, del 3 de diciembre al 9 de septiembre, con un porcentaje máximo del 32 % en 1 de enero. (Weather Spark, 2016)

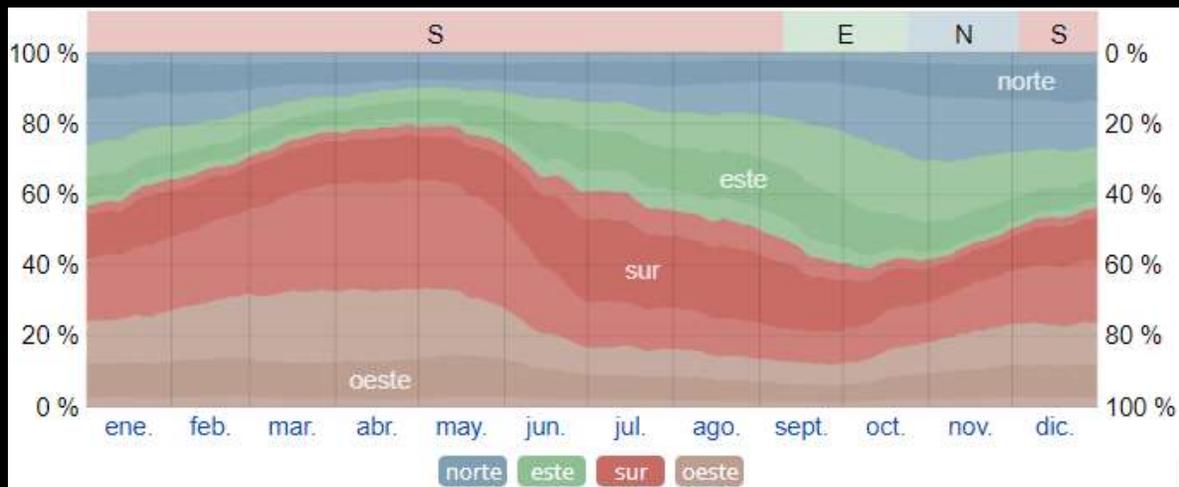


Figura 13. Dirección del viento.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.



Nota: Porcentaje de horas en las que la dirección media del viento viene de cada uno de los cuatro puntos cardinales, excluidas las horas en que la velocidad media del viento es menos de 1.6 km/h. Las áreas de colores en los límites son el porcentaje de horas que pasa en las direcciones intermedias implícitas (noreste, sureste, suroeste y noroeste).

Periodo de cultivo

Las definiciones del periodo de cultivo varían en todo el mundo, pero para fines de este informe, lo definimos con el periodo continuo más largo de temperaturas sin heladas (≥ 0 °C) del año (el año calendario en el hemisferio norte o del 1 de julio al 30 de junio en el hemisferio sur).

Aunque no sucede todos los años, algunos inviernos hay temperaturas bajo cero en Santa Fe de la Laguna. El día menos probable de estar en el periodo de cultivo es el 9 de enero, con un 57 % de probabilidad (figura 14).

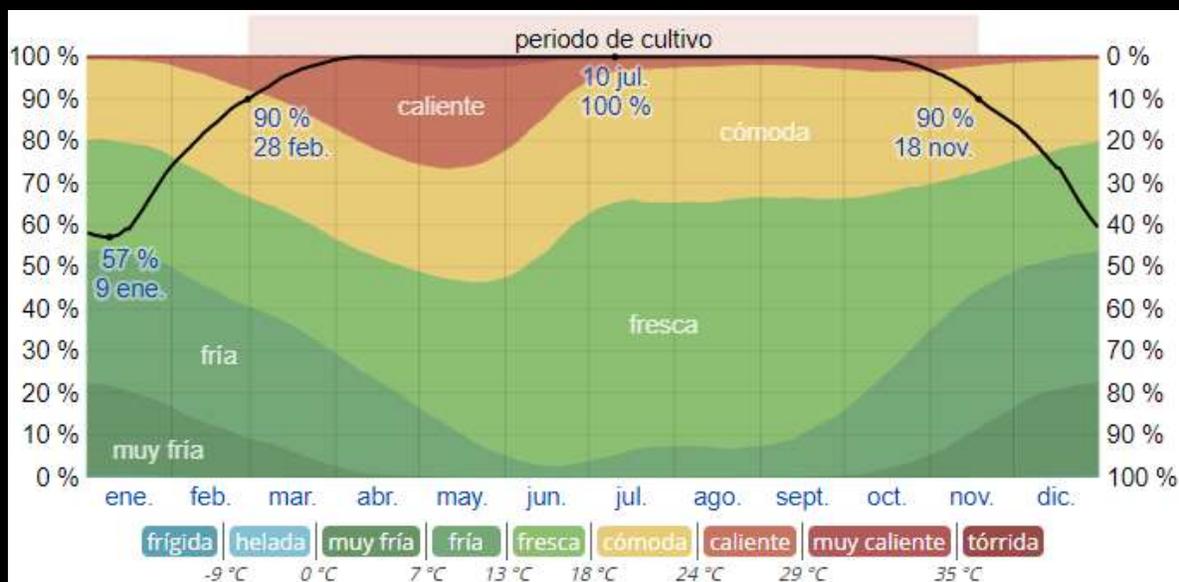


Figura 14. Tiempo que pasa en diferentes bandas de temperatura y el periodo de cultivo.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Porcentaje de tiempo que se pasa en diferentes bandas de temperatura. La línea negra es el porcentaje de probabilidad de que un día dado esté dentro del periodo de cultivo.

Los grados día de crecimiento son una medida de la acumulación de calor anual que se usan para predecir el desarrollo de las plantas y los animales y se define como la integral térmica por encima de una temperatura base, descartando el exceso por encima de una temperatura máxima. En este informe usamos una base de 10°C y un tope máximo de 30°C

En base únicamente a los grados día de crecimiento, en Santa Fe de la Laguna las primeras flores brotan alrededor del 14 de enero y rara vez brotan antes del 12 de enero o después del 19 de enero. (Weather Spark, 2016)

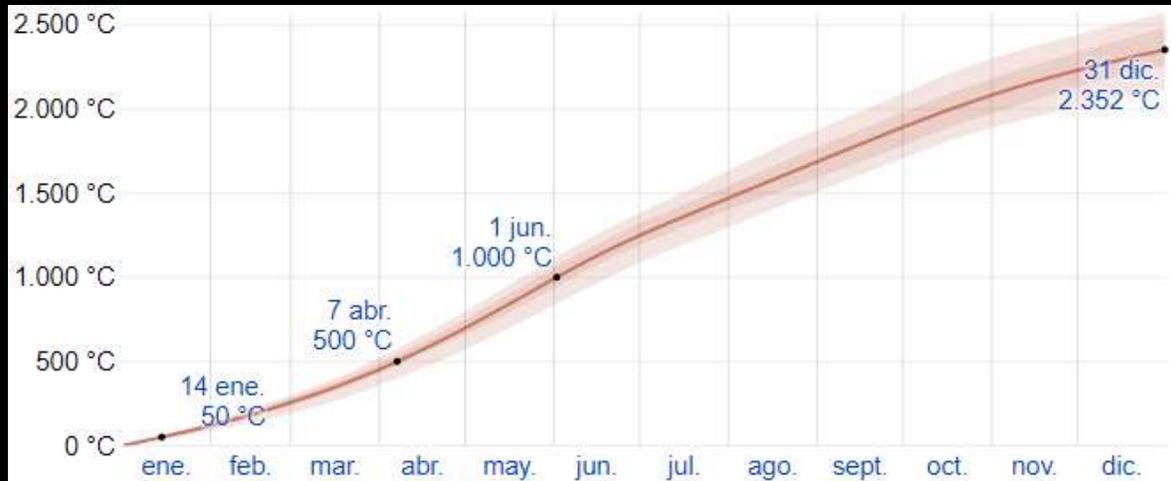


Figura 15. Grados días de crecimiento.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Grados de crecimiento promedio acumulados en el transcurso del año, con las bandas de percentiles 25 a 75 y 10 a 90.

Energía solar

Esta sección trata sobre la energía solar de onda corta incidente diaria total que llega a la superficie de la tierra en un área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta.

La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales leves durante el año.

El período más resplandeciente del año dura 2.4 meses, del 11 de marzo al 25 de mayo, con una energía de onda corta incidente diaria promedio por metro cuadrado superior a 6.8 kWh. El día más resplandeciente del año es el 19 de abril, con un promedio de 7.4 kWh.

El periodo más oscuro del año dura 3.5 meses, del 9 de octubre al 24 de enero, con una energía de onda corta incidente diaria promedio por metro cuadrado de menos de 5.2 kWh. El día más oscuro del año es el 20 de diciembre, con un promedio de 4.7 kWh (figura 16) (Weather Spark, 2016).

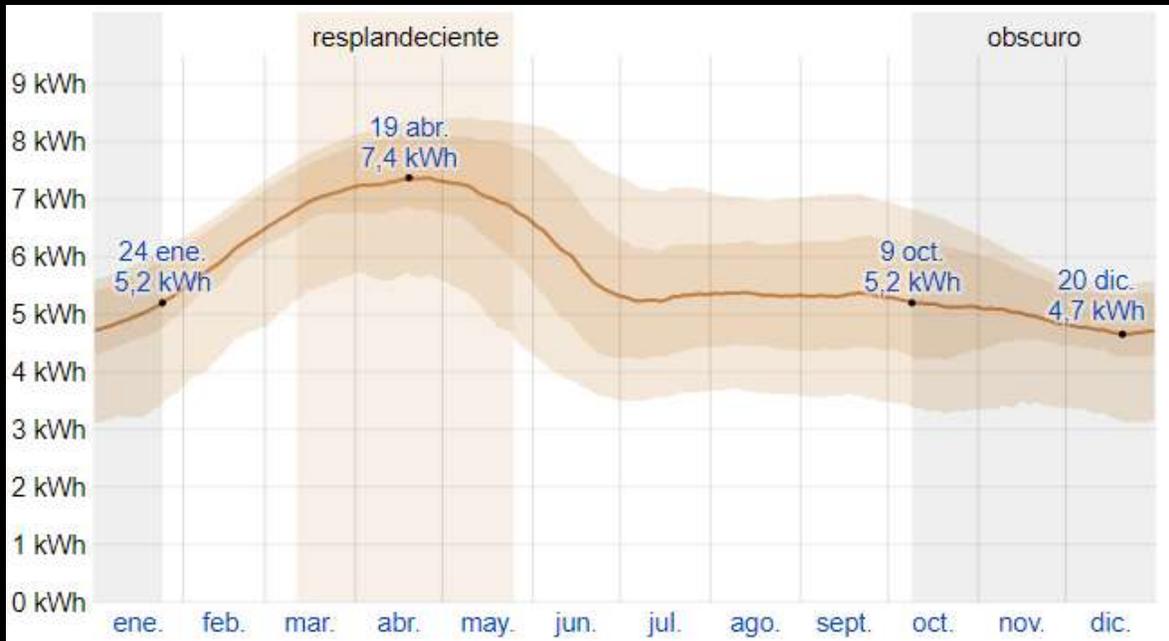


Figura 16. Energía solar de onda corta incidente diaria promedio.

Fuente: extraído de Weather Spark, 2016.

Nota: Energía solar de onda corta promedio diaria que llega a la tierra por metro cuadrado (línea anaranjada), con bandas de percentiles 25° a 75° y 10° a 90°.

2.1.3. DIVERSIDAD BIOLÓGICA

Vegetación

Los bosques que se encuentran en el área de estudio están compuestos por varias especies de encinos, coníferas, pinos y oyameles, con fuerte presencia de hierbas, arbustos, pastizales, matorrales subtropicales y desérticos micrófilos, especialmente asociaciones de huizache-mezquite. Asimismo, en la ribera del lago se presenta vegetación halófila (Periodico Oficial, 2011).

Debido a la altitud y al clima templado-frío, en la comunidad boscosa son dominantes los pinos y encinos de diversas especies. Abundan el roble y vegetación secundaria conformada de matorral espinoso de leguminosas, cactáceas y otras especies, originalmente estas áreas fueron bosques de pino-encino.

Además de la vegetación anterior, debe señalarse al Oyamel, Madroño, plantas y arbustos de tipo tintoreales como: Sacatecatl y Conguera.

Por otro lado, existe otra variedad de **plantas medicinales** como: cicuta, adormidera, toloache, así como **árboles frutales**: membrillo, pera, manzano, cereza, ciruela, durazno, aguacate, limón, lima, chabacano, naranjo y toronja. Hay también gran variedad de **plantas ornamentales** como: crispon (follaje ornamental), camelina, *tsarharakua tsitsiki*, *chekamekua tsitsiki* (flor de cinco llagas), *jorskua tsitsiki* (flor de estrella), *patsuan*, *terendapu* (flor de piedra) entre otros. Y en la vegetación acuática se encuentra el lirio, la chuspata (tallo plano), tule (tallo redondo), la ojilla, la malesa acuática, el carrizo y carricillo en las orillas del Lago de Pátzcuaro (Cruz Lucas, 2013).



Fauna Silvestre

Las especies de **mamíferos** que habitan en el predio son: *Axuni* (venado cola blanca), *Jiuatsi* (coyote), *Misitu Papu* (gato montés), *Uakuí* (Ardilla voladora), *Auáni* (conejo), *kuaráki* (ardilla), *Kúmu* (tuza), *Amats* (tejón), *Sapinarhi* (comadreja), *kurhúki* (rata) *Jeíaki* (ratón) y el mapache.

Mamíferos nocturnos: *Cacomixtle* (localmente se conoce como zorro), *Ukúri* (tlakuache), *K'uitsiki* (zorrillo), *Isinkua* (armadillo).

Respecto a **reptiles**: *Tsiriparha* (víbora de cascabel), *Tanturi* (coralillo), *Tarheri* (alicante), *Uiriati* (víbora látigo), *P'ikuku Akuitse* (víbora aguja), *Kokoni* y *Etsekurita* (lagartijas del monte) y *K'útu* (tortuga) en el lago. Son las más representativas de la zona (Cruz Lucas, 2013).

Para el caso de **anfibios** se reportan algunas especies con rangos de distribución restringidos como son: *Rana dumni* (Rana de Pátzcuaro), *Ambystomaaandersoni* (Ajolote de Pátzcuaro), *Ambystomadumerilii* (Achoque de Pátzcuaro), *Eleutherodactylusangustudugutorum* (Rana fisgona de Pátzcuaro) (Venegas Torres, 2010, pág. 44).

Actualmente estas ranas ya poco existen, en la ribera se le conoce como kuanas (ranas), el achoque está en peligro de extinguirse dentro del lago, pero hay algunas personas que cultivan estas especies como las *monjas clarisas* y preparan jarabes medicinales.

Las **aves** más importantes en el predio están representadas por *Tukuru* (tecolote), *K'uaki* (cuervo), *Kurhítse* (zopilote), *Tsápti* (gavilán), *Japus* (gavilán chico) *K'uikipu* (huilota), *Tsintsuni* (colibrí), *Pitsikata* (golondrina) y *t'arhenkua charhóara* (gorrión) (Cruz Lucas, 2013).

Los Peces del lago de Pátzcuaro

La diversidad existente en el área de estudio la encontramos en su mayoría en el Lago de Pátzcuaro abundante en peces endémica, como el pez (sic), la acúmara, la chehua, el tiro y moluscos. Asimismo es hábitat de dos especies amenazadas a escala global: el ajolote de Pátzcuaro y la mascarita transvolcánica. Desde el origen de los asentamientos prehispánicos, el lago ha sido fuente de sustento para los indígenas P'urhépecha y sus descendientes asentados en la ribera (Periodico Oficial, 2011).

A través de la investigación de la facultad de biología de la UMSNH, a cargo de la Biol. Martina Medina Nava, comunicación Personal del laboratorio de Biología Acuática, menciona que las especies de peces que habita el lago de Pátzcuaro, está formada por 15 especies que es representada el 4.25 % de las que se conocen en Michoacán, diez de éstas son nativas y cinco son introducidas.

Mencionaremos las diez especies nativas de éste lago de Pátzcuaro, mismas que pertenecen a tres familias:

- El pescado blanco (*Chirostoma estor*);
- El charal blanco (*Chirostoma Grandocule*);
- Charal prieto (*Chirostoma attenuatum*) y
- Pinto (*Chirostoma Pátzcuaro*), de la familia **Atherinopsidae**;



- La acúmara o sardina de agua dulce (*Algansea Lacustris*) de la familia **Centrarchidae**,
- La chegua (*Allophorus robustus*);
- El choromu (*Allotaca diazi*),
- Tiros omnívoro (*Skiffia lermæ*), y
- Tiros hervívoro (*Goodea atripinnis*), de la familia **Goodeidae**.
- Achoque (ajolote).

Cinco especies introducidas:

- La lobina negra o trucha (*Micropterus salmoides*)
- Tilapia (*Tilapia rendalli*);
- La mojarra (*Oreochromis niloticus*)
- La carpa de Israel (*Cyprinus carpio*);
- La carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*) (Vázquez del Mercado, 2004, pág. 114).

La lobina negra o mejor conocida regionalmente como trucha, fue la que se introdujo primeramente en los años treinta, después en los años sesenta introdujeron la mojarra y/o tilapia y finalmente en los años setenta metieron la carpa, esto con la finalidad de incrementar la productividad pesquera para toda la región rivereña.

Por otro lado estos proyectos generaron una fuerte polémica en cuanto al impacto ecológico, pues descubrieron que la trucha se alimentaba de otros peces más pequeños entre ellos el pescado blanco, al igual que la carpa pues éste último era más perjudicial porque come de todo, desde vegetales, insectos, pero sobre todo los peces más pequeños.

Para los pobladores natos de esta localidad mencionan que los peces nativos eran 7 y dos anfibios y nombran en el idioma p'urhépecha:

Peces:

- **Curucha Urapiti** (pescado blanco);
- **Kuerepu** (charal pinto);
- **Chakuamu** (charal blanco);
- **Kuerepu Turhípiti** (charal prieto);
- **Akúmarha** (sardina de agua dulce);
- **Tiru** (tiros) y
- **Chehua** (parecidos a los tiros);

Anfibios:

- **Achojki** (ajolote);
- **Kuanas** (ranas) (Cruz Lucas, 2013).

“Se mencionan otro tipo de pescados de nombre **Caroen** que hasta la fecha se desconoce su existencia y por lo tanto su extinción, por los pescadores y por los ancianos de esta zona, ésta especie lo menciona Néstor Dimas Huacuz a través de su investigación de su libro titulado “Temas y Textos del Canto P'urhépecha” (Dimas Huacuz, 1995, pág. 97).



El **pescado blanco** desarrolla una longitud superior a los 20 cm, hasta los 39 cm. Tiene hábitos carnívoros; como crustáceos muy pequeños y después de los 10 cm de longitud, comen charales y se reproducen durante todo el año y depositan entre 2,000 a 15,000 huevos entre el lirio y las algas de las orillas pedregosas (Vázquez del Mercado, 2004, pág. 115).

Este pescado ya se extinguió aproximadamente en el año dos mil en adelante, aunque algunos pescadores de la región comentan que todavía en el 2007 alcanzaron a sacar pocos pero de tamaño pequeño y ya no lo sacaban para la venta sino para consumo personal. Por otro lado se menciona que la UMSNH está haciendo trabajos tendientes a su recuperación del pescado blanco (Cruz Lucas, 2013).

“Los **Charales**: *Kuerépu*, *Chakuami* y *Kuerepu turípiti*. Estas tres especies comparten mismos alimentos, comen zooplancton y crustáceos e insectos, su reproducción es todo el año y ponen entre 400 a 1,200 huevos” (Vázquez del Mercado, 2004, pág. 115).

Estos pescados son los más pequeños, su longitud máxima pueden llegar hasta 15 cm, pero en la actualidad sólo pueden llegar hasta los 13 cm por la demanda y por la amenaza de otras peces más grandes (Cruz Lucas, 2013, pág. 33).

“La **Akúmara** tiene el cuerpo delgado y alargado de color gris oscuro con una línea lateral completa, se reproduce desde noviembre hasta junio, pone hasta 165,000 huevos, son esféricos y transparentes, se alimenta de zooplancton y algas filamentosas” (Vázquez del Mercado, 2004, pág. 116).

En la actualidad la akúmara ya casi se extingue, por las mismas razones que las anteriores. Los pobladores comentan que este pescado vive todo el año por los conductos subterráneos que se conecta del cerro del Tzirate, incluso existe un paraje dentro del territorio comunal denominado la akúmara que es un pequeño hoyo de 32 m³ aproximadamente y que supuestamente por ese lugar fluía el agua que bajaba del Tzirate y pululaban las akúmaras y que sólo bajaban al lago entre noviembre a junio, en la actualidad este pequeño pozo ya se encuentra cubierto de tierra; otros comentan que después del tornado que cayó dentro del lago en el año de 1963, hizo que esparciera los peces y cayeran al algunos hogares y en los cerros, incluso algunos comentan que habían caído en otras comunidades foráneas del lago (Cruz Lucas, 2013, pág. 34).

“Los **Tiros** presentan un tamaño de entre 13 a 15 cm, estos peces se caracterizan por su dimorfismo sexual, su cortejo nupcial y por ser vivíparos, se alimentan de zooplancton, de animales y plantas bentónicas del fondo o que se adhieren a las rocas o de algas filamentosas” (Vázquez del Mercado, 2004, pág. 117).

Las **Chehuas** miden entre 18 a 20 cm, prefieren las aguas quietas y templadas con malezas acuáticas, claras o poco turbias, de fondos lodosos. Esta especie al igual que los tiros presentan dimorfismo sexual y su cortejo nupcial elaborado, se reproduce durante todo el año y también es vivíparo, su alimentación son crustáceos, larvas de insectos y pequeños peces, también es carnívoro. Estos dos pescados al igual que los charales ya no alcanzan a esta dimensión por las mismas razones (Cruz Lucas, 2013, pág. 34).

El **Achoque** es un anfibio endémico con cabeza redondeada y aplanada, cuerpo más ancho en el extremo que en el tronco y la cola alargada y aplanada. La cabeza y el dorso están cubiertos de puntos hundidos que son las aberturas de las glándulas de la piel, las cuales



secretan un humor amargo y de mal olor, se alimentan de crustáceos, es color rojo violeta mezclado de pardo, sus costados tienen blanquecinas, agallas negras y una membrana natatoria que nace como a la mitad del dorso de un negro lívido, las manos son semipalmeadas y las patas palmeadas (Huacuz, 2002).

En la actualidad están en peligro de extinguirse debido a varios factores, por desechos contaminantes extraídos de los industriales, así como domésticos (metales, fungicidas, herbicidas e insecticidas, entre otros) ya que el achoque respira a través de su piel y eso lo afecta, también por los peces más grandes que le consumían sus huevecillos, y que en los últimos años fue más por la explotación, ya que de él se hace un jarabe medicinal (Cruz Lucas, 2013, pág. 35).

El **Kuanas** es una rana endémica del lago de Pátzcuaro de color verde oliva con manchas cafés en la espalda y bandas en las patas. Su reproducción es en los lugares con corrientes de agua y viven en las aguas profundas, ésta especie era muy común, pero la sobreexplotación, ocasionada por la recolectada de ejemplares para la venta, ha reducido notoriamente sus poblaciones (Vázquez del Mercado, 2004, pág. 120).

Antes de la introducción de otros peces arriba mencionados, la pesca para ese entonces era la principal fuente de ingreso y el trueque para las comunidades alrededores de la región lacustre.

2.1.4. USOS DEL SUELO

La superficie total con que cuenta la comunidad de Santa Fe de la Laguna es de 5,168.55 hectáreas, legalmente reconocidas, mismas que en términos de uso se distribuyen en la siguiente forma (figura 17):

- + Área agrícola de humedad 258.90 Has.
- + Área agrícola de temporal 2,585.70 Has.
- + Área de bosque y pastizal 1,494.90 Has.
- + Área federal del lago 88.00 Has.
- + Área urbana 741.05 Has (Cruz Lucas, 2013).

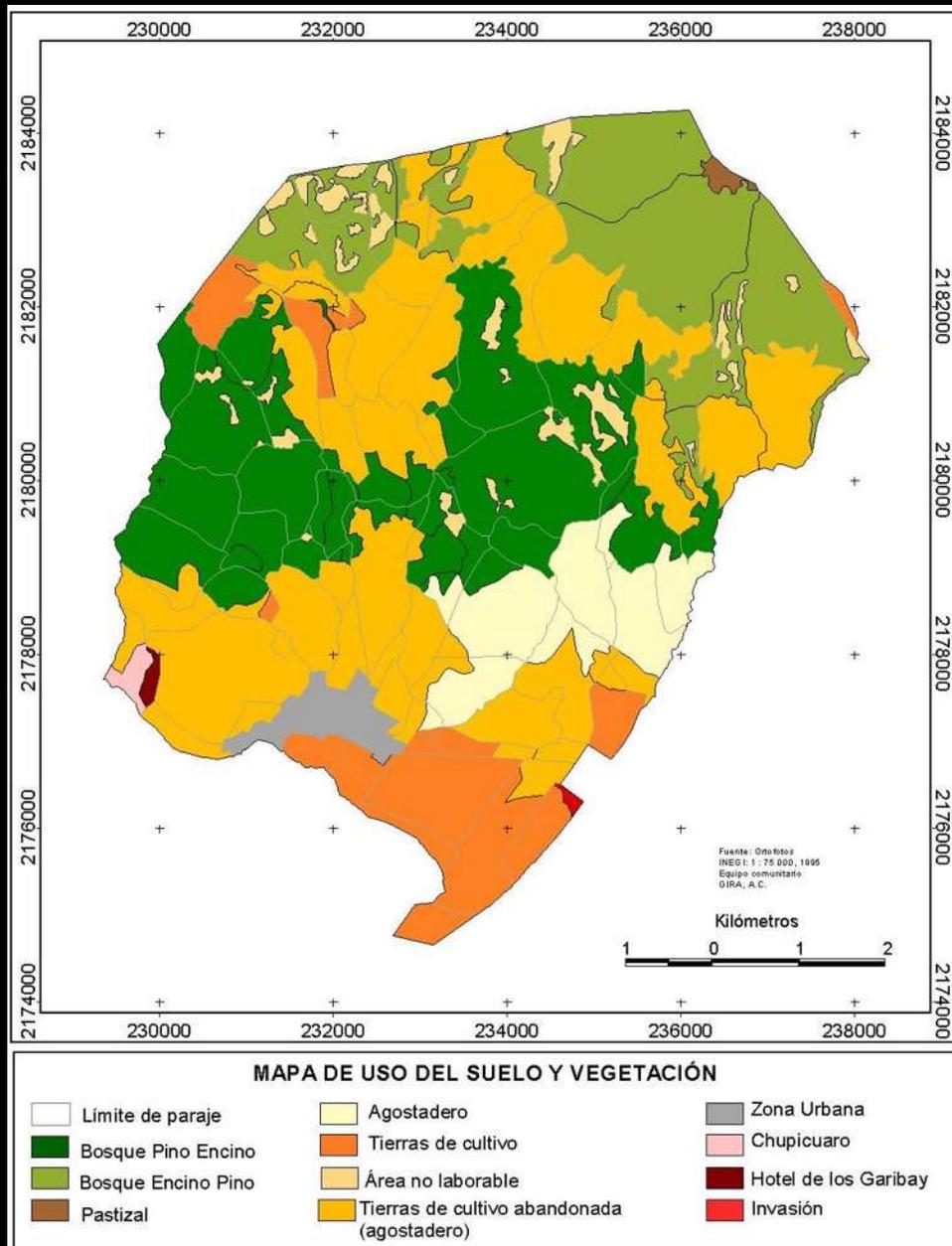


Figura 17. Uso del suelo y vegetación de Santa Fe de la Laguna.

Fuente: COMISIÓN NACIONAL FORESTAL, grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada, 2006.

2.1.5. GEOLOGÍA

Los suelos de la localidad son del periodo cuaternario. En la parte norte y oeste de Santa Fe de la Laguna existen rocas ígneas del tipo Basalto (QhoB) (figura 18), Brecha volcánica basáltica en el Cerro *Ueamuo* y suelo aluvión al sur, al este y en el área urbana actual de Santa Fe de la Laguna. En la parte norte del área de estudio se ubica en el cerro *Ueamuo* un banco de material de donde se extrae roca volcánica basáltica (material para relleno: greña y tepetate) (Periodico Oficial, 2011).

Las rocas extrusivas típicas son formadas por el rápido enfriamiento de la lava y de fragmentos piroclásticos. Este proceso ocurre cuando el magma es expulsado por los



aparatos volcánicos; ya en la superficie y al contacto con la temperatura ambiental, se enfría rápidamente desarrollando pequeños cristales que forman rocas de grano fino (no apreciables a simple vista) y rocas piroclásticas. Los piroclásticos (del griego *pyro*, fuego, y *klastos*, quebrado), son producto de las erupciones volcánicas explosivas y contienen fragmentos de roca de diferentes orígenes, pueden ser de muchas formas y tamaños (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

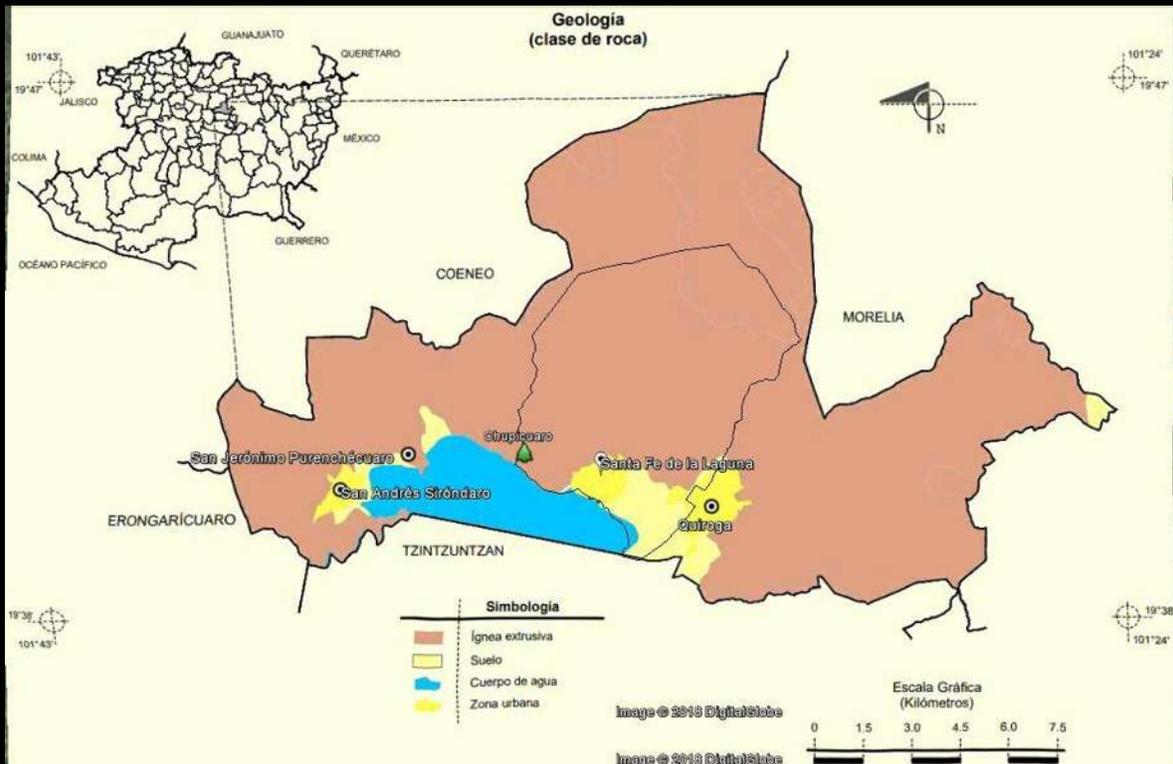


Figura 18. Geología.

Fuente: adaptado de INEGI con ayuda de Google Earth.

2.1.6. EDAFOLOGÍA.

Los tipos de suelo que se localizan en el área de estudio, corresponden a su fase física pedregosa (presencia de piedras con 7.5 cm. o más de diámetro en la superficie del terreno o dentro de los 30 cm. de profundidad): Feozem, Luvisol, Vertisol crómico y Andosol.

2.1.7. TOPOGRAFÍA.

La topografía en la que se asienta la Comunidad Indígena de Santa Fe de la Laguna se caracteriza por tener en su mayoría pendientes del 5 al 15 % ubicadas en la parte centro y oeste del área de estudio (figura 20). Al sureste se localizan las áreas con mayor aptitud para el crecimiento urbano contiguas al área urbana actual (Periodico Oficial, 2011).

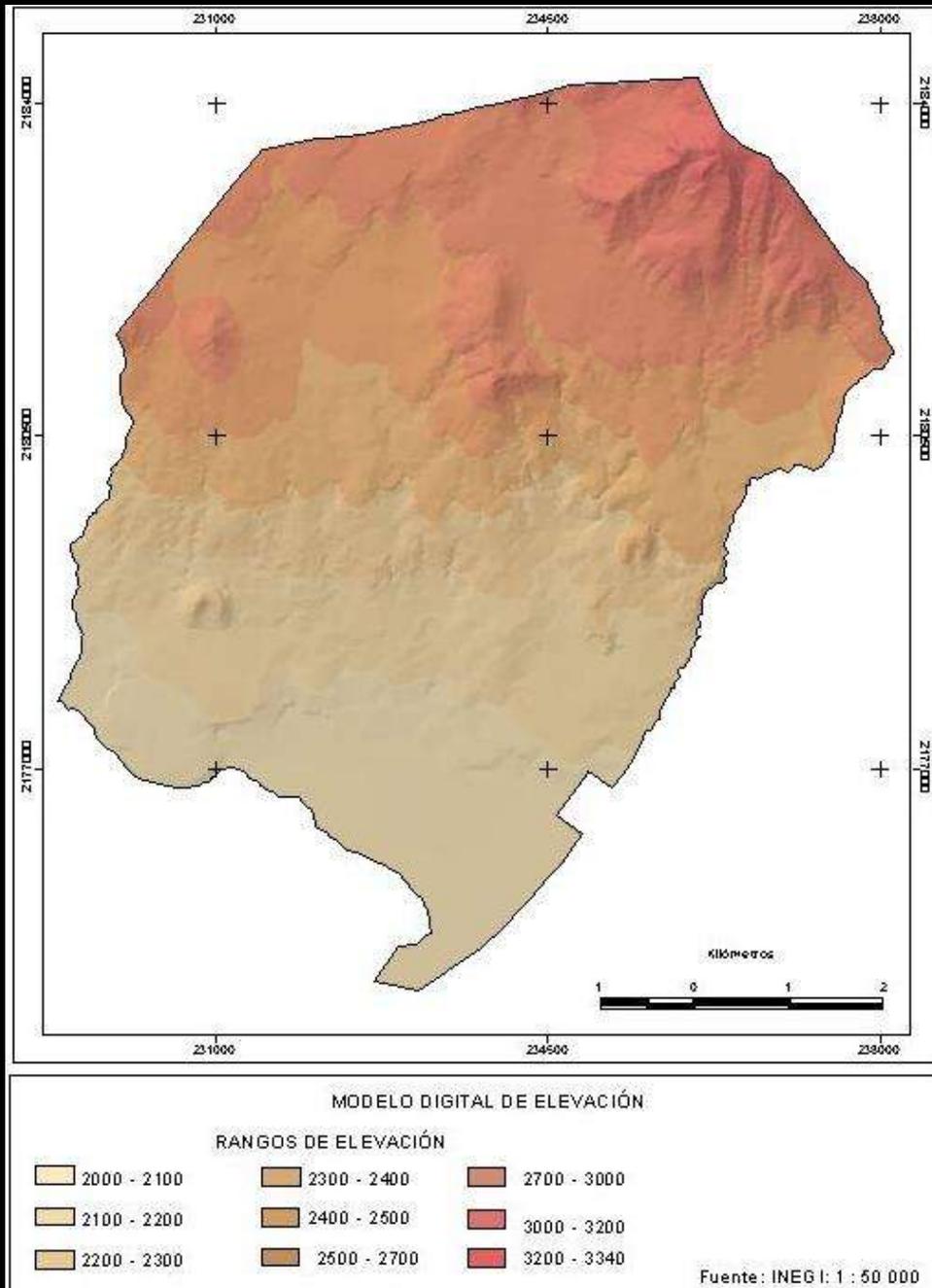


Figura 19. Modelo digital de elevación de Santa Fe de la Laguna.

Fuente: COMISIÓN NACIONAL FORESTAL, grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada, 2006.

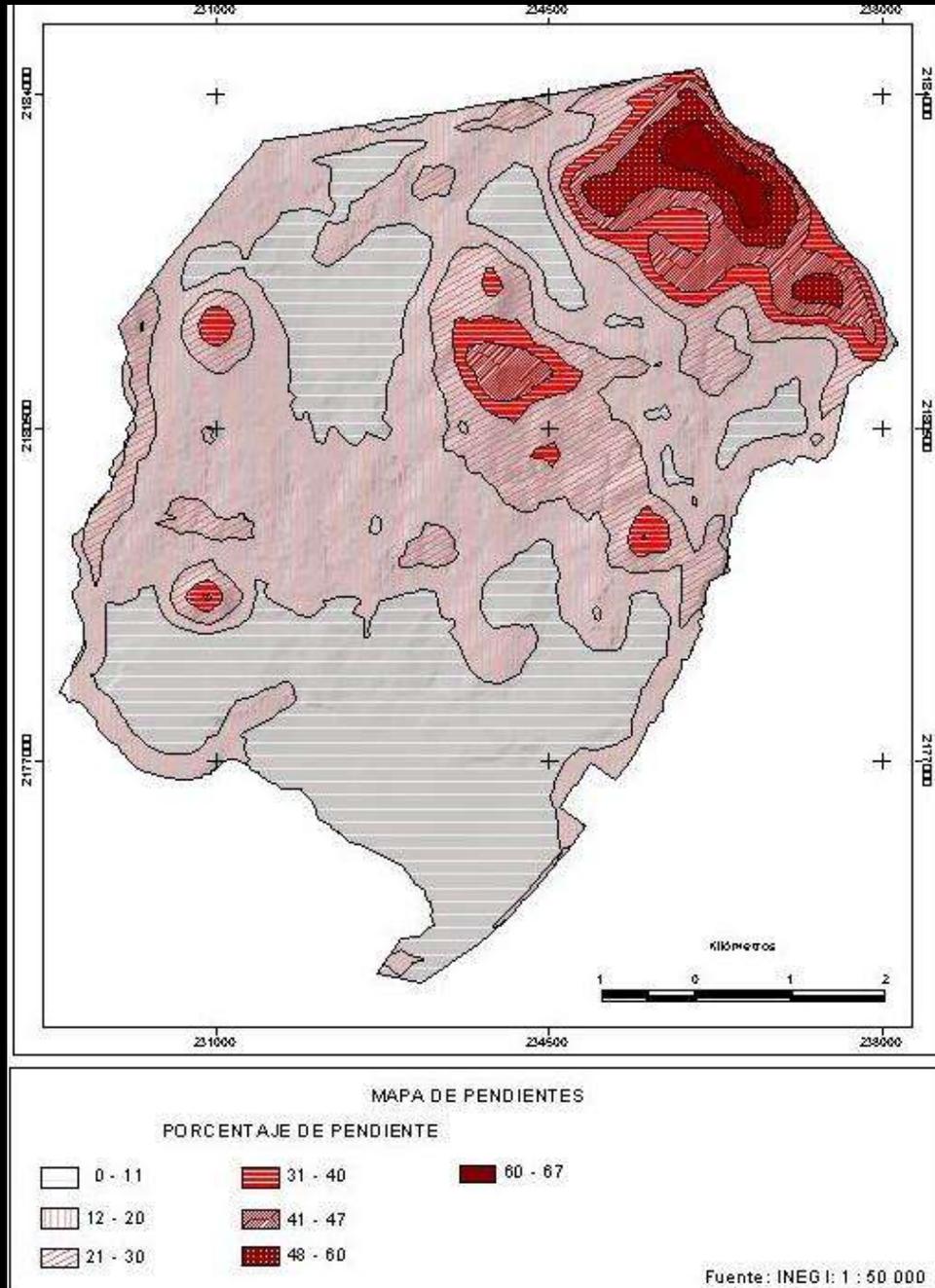


Figura 20. Mapa de pendientes de Santa Fe de la Laguna.

Fuente: COMISIÓN NACIONAL FORESTAL, grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada, 2006

2.1.8. SUELOS DOMINANTES

Los suelos dominantes de Santa Fe de la Laguna son Andosol, Luvisol y Phaeozem (figura 21), mismas que se describen a continuación.

Andosol: de las palabras japonesas *an*: oscuro; y *do*: tierra. Literalmente, tierra negra. Suelos de origen volcánico, constituidos principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad al suelo. Son generalmente de colores oscuros y tienen alta capacidad de retención de humedad. En condiciones naturales



presentan vegetación de bosque o selva. Tienen generalmente bajos rendimientos agrícolas debido a que retienen considerablemente el fósforo y éste no puede ser absorbido por las plantas. Sin embargo, con programas adecuados de fertilización, muchas regiones aguacateras de Michoacán, por ejemplo, consiguen rendimientos muy altos. Tienen también uso pecuario especialmente ovino; el uso más favorable para su conservación es el forestal. Son muy susceptibles a la erosión eólica y su símbolo es (T).

Luvisol: del latín *luvi, luo*: lavar. Literalmente, suelo con acumulación de arcilla. Son suelos que se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas aunque en algunas ocasiones también pueden encontrarse en climas más secos. La vegetación es generalmente de bosque o selva y se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a ser oscuros. Se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos moderados. En algunos cultivos de café y frutales en zonas tropicales, de aguacate en zonas templadas, donde registran rendimientos muy favorables. Con pastizales cultivados o inducidos pueden dar buenas utilidades en la ganadería. Los aserraderos más importantes del país se encuentran en zonas de Luvisoles, sin embargo, debe tenerse en cuenta que son suelos con alta susceptibilidad a la erosión. En México 4 de cada 100 hectáreas está ocupada por Luvisoles. El símbolo para su representación cartográfica es (L).

Phaeozem: del griego *phaeo*: pardo; y del ruso *zemljá*: tierra. Literalmente, tierra parda. Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, semejante a las capas superficiales de los Chernozems y los Castañozems, pero sin presentar las capas ricas en cal con las que cuentan estos dos tipos de suelos. Los Feozems son de profundidad muy variable. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Los Feozems menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables. El uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y sobre todo de la disponibilidad de agua para riego. Su símbolo en la carta edafológica es (H) (INEGI).

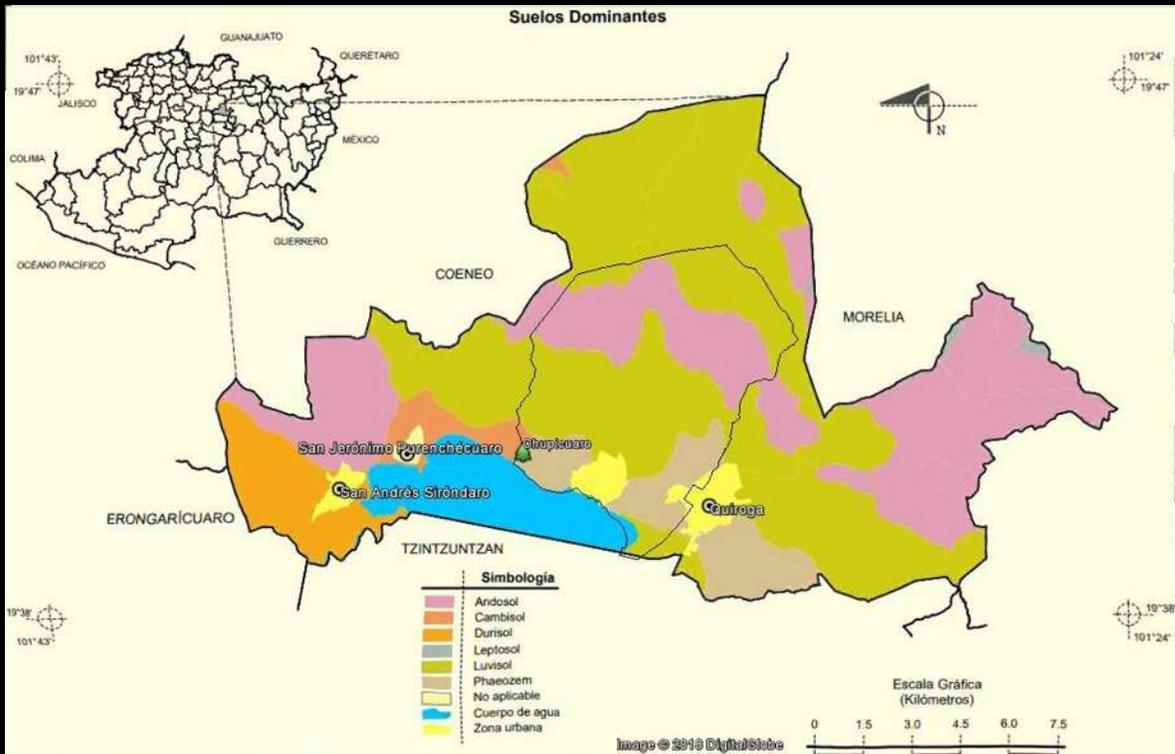


Figura 21. Suelos dominantes de Santa Fe de la Laguna.
Fuente: adaptado de INEGI con ayuda de Google Earth.

2.1.9. HIDROGRAFÍA.

La Cuenca del Lago de Pátzcuaro donde se ubica Santa Fe de la Laguna, está en la parte central del estado de Michoacán, es una de las regiones más notables del país debido a su importancia biológica, ecológica, cultural, histórica, escénica y arquitectónica. Asimismo, pertenece a la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, una de las más grandes en América Latina (Periodico Oficial, 2011).

Existen dos manantiales cercanos al predio de Santa Fe de la Laguna, los cuales se localizan en los parajes de *Perasirhu* (sólo en temporada de lluvias) y *Tsintsunirhu*, existe otro lugar denominado *akúmarharu*, pero éste a la fecha esta tapado por la misma tierra. También existen tres dentro de la comuna donde se localizan: *Ancestio*, *Cástro* y *Ueratirhu* (Cruz Lucas, 2013).

Las corrientes de agua son intermitentes y escurren por las laderas hasta desembocar en el lago de Pátzcuaro, el cual limita al sur con la comunidad (figura 22) (Venegas Torres, 2010, pág. 8).

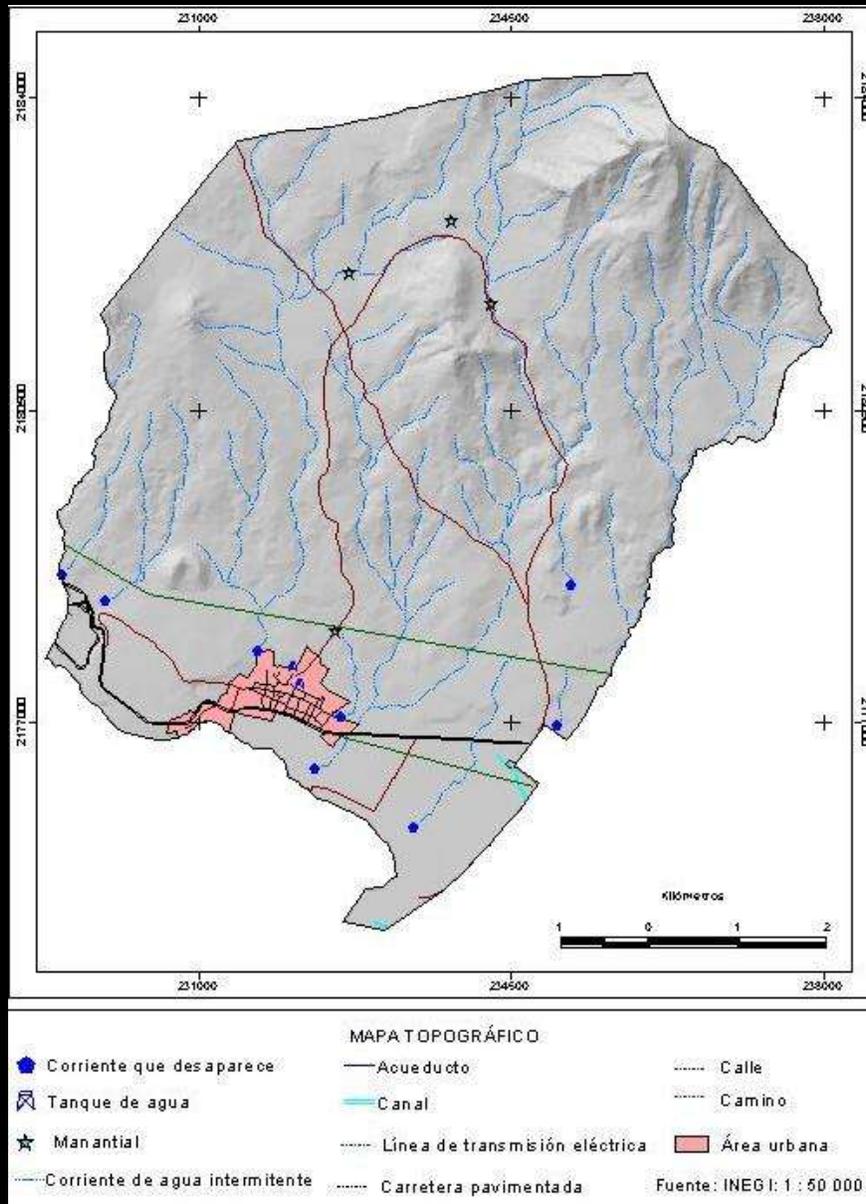


Figura 22. Hidrografía de Santa Fe de la Laguna.

Fuente: COMISIÓN NACIONAL FORESTAL, grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada, 2006.

2.2. MARCO SOCIAL

2.2.1. HISTORIA

Al final del siglo XII arribaron a Michoacán los P'urhépechas "chichimecas", estableciéndose en un lugar llamado *Uirúguarapexo*, dentro del área de influencia del señorío de Naranja, cerca de Zacapu (*Jerónimo de Alcalá/Relación de Michoacán*) (Alcalá, 1540). Allí construyó un emplazamiento y por medio de una alianza matrimonial, se instituyó un pacto entre los recién llegados guerreros y los agricultores que ya habitaban la ciénega, originándose con ello un primer proceso de aculturación para los *uacusechas*. A la postre la asociación se rompe por violar un acuerdo religioso de no tomar venados destinados a Curícaueri y estalla la guerra.



Los uacusechas encabezados por Hireti Ticátame, después de que este hirió a dos principales de Naranja, son obligados a replegarse a Zichaxuaro donde fundan un segundo pueblo. Subsiguientemente un “escuadrón” formado por los ejércitos de Naranja y Comanja, atacan y destruyen el pueblo, resultando muerto el propio dirigente “águila”. Su hijo Sicuírancha recorre con su pueblo la región del lago de Pátzcuaro (J.M.G. Le Clézio/La conquista divina de Michoacán) (Le Clézio, 1985) y en la parte norte funda el tercer asentamiento denominado *Uayameo*.

En Uayameo se establece una especie de cacicazgo previo a la conformación del Estado P'urhépecha que dura aproximadamente 100 años, de 1250 a 1350 (Claudia Espejel Carbajal- 13/mar/2011). Aquí se construyen templos y casas para la clase sacerdotal y se realizan exploraciones alrededor del lago que posteriormente les permitirán fundar nuevos señoríos. Es decir, *Uayameo* funciona como una especie de punta de lanza, que les abre el posicionamiento del lago, el sondeo de los alrededores y a continuación la instauración de lo que serían los núcleos fuertes de la Cultura P'urhépecha, Pichátaro, Iramuco, Pareo y Curínguaru.

Durante la instancia en *Uayameo* gobiernan respectivamente 4 señores, Sicuírancha, Pauácume, Uápeani, Curátame, todos enterrados con sus correspondientes honores al pie de yácatas en o cerca del actual Santa Fe de la laguna. En el periodo precolonial, vivieron un siglo organizados a través de linajes: Eneani, Tzacapu Ireti, Uanacase y los Uacusecha, sin embargo al morir Curátame se fraccionan los “chichimecas”. Estableciéndose un mito divisorio y a la vez fundacional en torno a la diosa luna Xarátanga.

Más allá de la leyenda, la dispersión pudo obedecer a distintos factores, el crecimiento de la población, la competencia por los recursos del lago, el reacomodo de las élites gobernantes (*Ramón Torres S./La Educación en Michoacán Época Prehispánica*) o incluso el acoso de los grupos rivales de los que originalmente venían huyendo.

La separación gira en torno a los señores principales y sus dioses vitales los llamados *Tiripimenchá*. El líder *Tarépecha Chánshori* se lleva al dios *Uréndequabécara* y funda el señorío de *Curínguaru*, el cacique Ypínchuaní traslada a la deidad Tirípeme xugápeti y crea el señorío de Pechátaro, el principal Tarépupanguaran reubica a su dios Tirípeme turupten en Ylámucuo, el cuarto jefe Máhicuri reasienta al Dios *Tirípeme caheri* en Paréo, por último los hermanos Uápeani II y Pauácume II, se llevan consigo al omnipresente Curícaueri. Los Tiripimenchá eran deidades hermanos de Curícaueri y pilares principales del panteón P'urhépecha (José Corona Ñ./Mitología Tarasca). La separación del grupo chichimeca ocasionó también la movilización del pueblo de Tzintzuntzan, que se trasladó a Tarherio y después a Zipixo, donde construyeron un juego de pelota, una Yacata e instalaciones sanitarias.

Uayameo es pues una prestigiosa zona mítica, último centro de residencia y destino final de los *Tiripimenchá*, lo que pudo originar la posterior fundación del *Hospital* en ese preciso lugar, ya que *Vasco de Quiroga* debió conocer el poder de atracción religiosa del tercer pueblo P'urhépecha (Igor Cerda Farías-13/mar/2011). Después de la conquista *Uayameo* fue reclamado como tierras patrimoniales de la familia *Huitzimengari* (Ricardo León Alanís-13/mar/2011). Finalmente Santa Fe de la Laguna como tal, fue fundada “formalmente” el **14 de septiembre de 1533** (*B. Warren/ Vasco de Quiroga y sus Hospitales-Pueblo de Santa Fe*).



2.2.2. POBLACIÓN

Santa Fe de la Laguna es uno de esos pueblos mágicos en donde se manifiesta con sus riquezas culturales a través de sus costumbres y tradiciones, así como la gastronomía, la música, danza, rituales, la lengua, el vestido, las artesanías, entre otras; donde el patrimonio material son fuentes de saber harto valoradas, de tal forma que durante siglos han servido como referentes para determinar la organización política, social y geográfica de la comunidad. Donde se convierte en un lazo fuerte que mantiene vigentes la memoria y tradición de su gente (Cruz Lucas, 2013).

Santa Fe de la Laguna es una comunidad indígena, según datos del INEGI al año 2010 reportó 4,505 personas de 3 años en adelante que habla la lengua indígena p'urhépecha, de las cuales 488 sólo habla el p'urhépecha y 4,007 son bilingües por lo que también hablan español. Tiene categoría Política de Tenencia.

Esta localidad siempre se ha mantenido como pueblo indígena, a través de su organización interna, lo que ayuda a sostener la vitalidad y la fuerza social de los comuneros, además es el ejemplo de lucha por la defensa de las tierras comunales para muchas comunidades indígenas de México y de otros continentes de América (Cruz Lucas, 2013), y lo simboliza en su bandera.

La bandera P'urhépecha consiste en cuatro campos de cuatro colores con un escudo y la leyenda de *Juchari Uinapekua* (Nuestra Fuerza) por debajo del escudo. Este blasón es único en su tipo, surgió en el pueblo de Santa Fe de la Laguna en 1980 y se instauró el 15 de enero de 1993, es una bandera étnica de México (figura 23).



Figura 23. Bandera P'urhépecha "Juchari Uinapekua" (Nuestra Fuerza).
Fuente: fotografía tomada en la calle "Juchari Uinapekua".

En el proyecto para la elaboración y diseño de esta bandera P'urhépecha han intervenido un gran número de personas de las distintas regiones P'urhépecha, así como de diferentes niveles de conocimientos y disciplinas, llegando a la presente imagen simbólica que puede explicarse como sigue:

Morado, (*Tsakápurduhu* - Región Ciénaga de Zacapu), que nos hace presente la región de la Ciénaga y de sus pueblos que han perdido el idioma materno y gran parte de nuestra



herencia cultural, que sin embargo aún cuidan y mantienen con sus manos a uno de nuestros dioses antiguos: el maíz.

Azul, (*Japóndarhu* - Región Lago), que nos da la significación de la región lacustre, donde fue el centro del Reino P'urhépecha, reflejando en sus aguas la grandeza de sus dioses y la memoria presente de las Yácatas que aún se conservan en casi todos los pueblos ribereños, donde se continúa tomando un alimento ancestral: el pescado blanco.

Amarillo, (*Eraxamanirhu* - Región Cañada de los 11 Pueblos), que nos representa la región de la cañada con el río Duero que corre serpenteando los Once Pueblos como un símbolo de vida y energía que transmite a la gente de esta región fértil.

Verde, (*Juátarhu* - Región Meseta P'urhépecha), que nos expresa la fecundidad de los bosques serranos y la riqueza de las maderas comunales de los pueblos pertenecientes a la llamada Meseta Purépecha o Tarasca.

En el centro, se ha colocado un bloque de obsidiana que representa a Curicaveri, es la forma de dios solar y que significaba el Gran Fuego, el que se alimenta de Fuego; forma que abrasa y proyecta a los diferentes puntos cardinales cuatro grupos de flechas, en la Relación se dice: estas flechas son dioses; en cada de estas, mata al dios Curicaveri y no suelta dos flechas en vano. También se encuentra el cuchillo de piedra blanca que señala el mensaje o destino del pueblo P'urhépecha y su origen divino, descendiente del "Linaje del Dios Curicaveri".

Como lema del escudo P'urhépecha, se ha tomado la frase que nació en la lucha organizada por la defensa de las tierras comunales en Santa Fe de la Laguna; *Juchari Uinapekua* ("Nuestra fuerza"), palabras que encierran toda la herencia cultural de un pueblo no vencido y que hoy repiten el resto de los pueblos P'urhépecha que luchan por su liberación (Wikipedia, 2018).

2.2.3. EDUCACIÓN.

En el aspecto educativo Santa Fe de la Laguna se encuentra muy rezagado ya que INEGI en el año 2010 demostró que de 267 niños de 3 a 5 años, 170 no asiste a preescolar, de 535 niños de 6 a 11 años, 42 no asiste a la escuela, 259 niños de 12 a 14 años, 47 no asiste a la escuela, de 343 adolescentes de 15 a 17 años sólo 134 asisten a la escuela, de 699 jóvenes de 18 a 24 años sólo 116 asisten a la escuela. De 606 niños de 8 a 14 años, 62 no saben leer ni escribir, 733 personas de 15 años en adelante son analfabetas, 593 personas de 15 años en adelante no tienen escolaridad o que solo tienen el nivel preescolar, 805 personas de 15 años en adelante tienen primaria incompleta, 909 personas de 15 años en adelante tienen primaria completa, 325 personas de 15 años en adelante tienen secundaria incompleta, 534 personas de 15 años en adelante tienen secundaria completa, 342 personas de 18 años en adelante que tienen como máxima escolaridad algún grado aprobado en: preparatoria ó bachillerato; normal básica, estudios técnicos o comerciales con secundaria terminada; estudios técnicos o comerciales con preparatoria terminada; normal de licenciatura; licenciatura o profesional; maestría o doctorado.

2.2.4. RELIGIÓN

La comunidad de Santa Fe de la Laguna es una comunidad muy apegada a la religión católica y lo demuestra en sus usos y costumbres, para ser exacto, el INEGI en el año 2010



demonstró que 4,659 personas son de la religión católica, 185 personas son de religiones protestantes históricas, pentecostales, neopentecostales, iglesia del dios vivo, columna y apoyo de la verdad, la luz del mundo, cristianas, evangélicas y bíblicas diferentes de las evangélicas. Sólo 6 personas se declararon sin adscripción religiosa.

2.2.5. ACTIVIDADES ECONÓMICAS.

La vocación económica de la Región es predominantemente turística seguida de la agricultura y la pesca. La mayor parte de la producción agrícola de la zona es usada para el autoconsumo; asimismo, entre las actividades características de la región destacan la elaboración de artesanías que le brinda un sello distintivo, ollas de barro, alfarería bruñida y una actividad que apenas se incorporó en el 2010 es la creación de alcancías de yeso.

La Comunidad de Santa Fe de la Laguna tiene como principales polos de interacción a Quiroga, Pátzcuaro, Zacapu y las ciudades de Uruapan y Morelia, las tres primeras consideradas como ciudades intermedias debido a su rango de habitantes, (50,001 a 80,000 habitantes) y la ciudad capital como zona metropolitana por rebasar los 500,000 habitantes. Su enlace de comunicación es por la carretera libre federal N° 15 de dos carriles, la carretera Federal de cuatro carriles Morelia-Pátzcuaro con acceso a la autopista Morelia-Uruapan-Lázaro Cárdenas siendo el enlace hacia el Sur del Estado y la carretera libre estatal de dos carriles que conecta a las localidades de la ribera del Lago de Pátzcuaro.

Población económicamente activa

En el año de 2010, la Comunidad Indígena de Santa Fe de la Laguna registró 3,823 habitantes de 12 años y más: 2,578 fueron población económicamente activa (de los cuales, 2,557 eran población ocupada y 21 fueron desocupada), 1,218 habitantes fueron población económicamente inactiva y 27 habitantes no especificaron su condición laboral.

Sectores y ramas de las actividades productivas

Ahora bien, la dinámica económica que ha presentado la comunidad indígena de Santa Fe de la Laguna de 1990 a 2000 por sectores económicos, muestra que el sector secundario es el que más población ocupada ha absorbido en el periodo, superando al primario y al comercial y de servicios que se caracterizan por ser predominantes entre la población indígena.

Para 1990 el sector industrial y de manufactura concentró en su mayoría a la población ocupada (con un 78%), seguido en orden de importancia por el sector comercial y de servicios (que concentró el 17%) y en último lugar el sector primario con el 5%. Una década después, el industrial y de manufactura (artesanal) sigue concentrando la mayor parte de la población ocupada (78%), el sector secundario siguió concentrando el 17% y el sector primario sigue siendo desplazado, quedando en último lugar de importancia con 4%.

Nivel de ingreso

Según los datos aportados por el INEGI para el año 2000, sólo el 2% (50 habitantes) de la población ocupada de la comunidad percibió un ingreso superior a los 5 salarios mínimos, situación que denota la alta concentración del mismo en unas cuantas manos; un 8.5% (184 habitantes) de la población se consideraron de clase media baja recibiendo de 2 a 5 salarios mínimos, y un 86.5% (1,886 habitantes) de la población ocupada percibió menos de 2 salarios mínimos. Lo anterior muestra que a pesar de que la población ocupada se



incrementó en 395 personas, respecto a la de 1990, la distribución del ingreso tradicionalmente se da de manera desigual entre los pobladores de la comunidad, repercutiendo en el limitado poder adquisitivo de más del 80% de la población local (Periodico Oficial, 2011).

2.2.6. BIENES Y SERVICIOS.

Educación.

La comunidad indígena de Santa Fe de la Laguna cuenta con la siguiente infraestructura para brindar educación básica: un Jardín de Niños, tres primarias, una telesecundaria, un plantel de educación inicial no escolarizada («Asociación de Niños de Santa Fe»), un plantel de nivel Secundaria y el Centro Regional Educativo N° 5.

Cultura.

En cuanto a instalaciones para la cultura se tienen dos bibliotecas, una ludoteca, un museo de sitio ubicado en el Antiguo Hospital de Santa Fe, una iglesia y cuatro capillas.

Salud.

Existe una Unidad Médica Rural del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Asimismo cuenta con una clínica de salud privada. La comunidad de Santa Fe depende de la infraestructura y servicios de salud de las ciudades de Quiroga, Pátzcuaro, Zacapu y Morelia.

Según datos del INEGI del 2010, 2,112 personas no tienen derecho a recibir servicios médicos en ninguna institución pública o privada, 2,760 personas son derechohabientes a servicios de salud 2,058 del IMSS y 124 del ISSSTE

Asistencia social.

En este rubro se cuenta con un Centro de Desarrollo Comunitario denominado «La Casa del Artesano» y está asociado a la Casa de las Artesanías en Morelia.

Comercio.

Las instalaciones de equipamiento que apoyan las actividades comerciales en Santa Fe de la Laguna son el tianguis que se establece en la plaza principal de la comunidad dos días a la semana, y tres tiendas comunitarias rurales.

Abasto.

El equipamiento de este subsistema se caracteriza por ser vecinal para la demanda de productos diarios como tiendas de abarrotes, tortillería, carnicería, etc. Para un abasto más especializado los habitantes de Santa Fe de la Laguna acuden a Quiroga o al mercado de abastos de Morelia, principalmente. Dado que existen tiendas comunitarias en la localidad, por normatividad debe existir un almacén en donde se resguarden los productos abastecidos por las instituciones del gobierno federal, sin embargo se carece de esta infraestructura.



Comunicaciones.

El centro de población cuenta con una ventanilla de Agencia de Correos que se localiza en el Barrio de San Juan I, la cual es una ventanilla intermediaria con la agencia de correos de Quiroga.

Transporte.

El área que se utiliza para cubrir el servicio se encuentra en la zona centro de la localidad, sin contar con el equipamiento adecuado para los usuarios (paradero con techumbres, señalización, asientos de espera, letreros indicativos de ruta, etc.).

Recreación

En el centro urbano se encuentra la plaza cívica donde se reúnen los pobladores del lugar ocasionalmente para eventos diversos. Cuenta con tres jardines vecinales, que son utilizados como áreas de recreación y un área de juegos infantiles, cuenta también con un parque recreativo («Chupícuaro») localizado al poniente de la comunidad.

Deporte

En cuanto al equipamiento deportivo Santa Fe de la Laguna cuenta con dos canchas de fútbol y tres de basquetbol, el nivel de servicio es de carácter local.

Administración pública.

Santa Fe de la Laguna sólo cuenta con oficinas de gobierno local, por lo que las autoridades comunales y la población en general tiene que acudir a la cabecera municipal o a Zacapu, para cubrir sus diferentes demandas de servicios, obras públicas, telégrafos, servicios de Telmex, Instituto Nacional Indigenista (INI), Oficina de la Reforma Agraria, Procuraduría Agraria, entre otras.

Refiriéndonos al inmueble en donde se asienta la administración pública local, Santa Fe de la Laguna cuenta con las siguientes oficinas: Jefatura de Representantes de Bienes Comunales, Jefatura de Jueces Menores, Jefatura de Tenencia.

Servicios urbanos

Para otorgar los servicios urbanos, la comunidad cuenta con un cementerio que se encuentra al máximo de su capacidad, un área destinada para basurero local ubicada al poniente de la zona urbana actual y que actualmente se encuentra clausurada porque no cumple con la normatividad y genera contaminación.

No existe una Comandancia de Policía como tal, pero la seguridad pública de la comunidad la cubren los propios habitantes. Cada barrio se organiza y realiza rondines, funcionan como casetas de vigilancia. Cuando se trata de asuntos mayores, se recurre a la policía municipal de Quiroga.

Servicio de recolección de basura

Este servicio se realiza por medio de vehículos recolectores de basura del municipio de Quiroga todos los días de la semana (a través de rutas diferentes para cubrir toda la localidad).



Respecto al basurero municipal, ubicado en el centro de población de Quiroga, este tiene una capacidad instalada de 400,000 m² al año y tiene la capacidad de absorber los desechos del centro de población y de localidades como Santa Fe de la Laguna. Por su parte, el sitio que es denominado Basurero Comunal actualmente está clausurado y es considerado como clandestino ya que no toma en cuenta las autorizaciones ambientales estatales y municipales. La contaminación que genera este sitio es primordialmente al suelo y al aire.

Alumbrado público

Es cubierto por el H. Ayuntamiento de Quiroga, existen comisiones de cada barrio para recolectar una cuota por concepto de contribución por el servicio del alumbrado público.

Agua potable

Existe un Comité de Agua Potable y Alcantarillado integrado por 16 mujeres encargadas de la administración del mismo.

Parques y jardines

El cuidado de los jardines de la plaza principal está a cargo de una persona que es asignada por las autoridades locales.

Agua potable.

Para el año 2010, el INEGI reportó que el 90.71% de las viviendas cuentan con agua entubada de la red pública.

La comunidad cuenta con un tanque de 120 m³ de capacidad (120,000 lts) que permite tener un consumo diario por habitante de 29.66 lts/hab/día, nivel muy por debajo de la normatividad oficial que demuestra la insuficiencia de agua para cubrir la demanda local.

Drenaje.

Según el INEGI (2010), la localidad tiene una cobertura del 54.92% en el servicio de drenaje. Sin embargo, en un estudio realizado por la empresa Luber Hidráulicos de Pátzcuaro (2008) la cobertura del servicio es del 90%, pero sólo el 6% de las viviendas están conectadas al sistema y el 94% restante usa una letrina o fosa séptica y/o descargan los desechos a cielo abierto.

Alumbrado público y electrificación.

La red de energía eléctrica, cubre el 100% del área habitada.

El servicio de alumbrado público es proporcionado por el H. Ayuntamiento de Quiroga y presenta deterioro por la falta de mantenimiento, específicamente en calles angostas y parte sur de la comunidad (en el paradero de transporte).

Pavimentos.

La comunidad de Santa Fe de la Laguna cuenta con el 80% de calles pavimentadas.

Los pavimentos que caracterizan a la localidad son: piedra ahogada y tierra, en general, el estado de conservación del pavimento es regular y presenta deterioro por la falta de infraestructura para el drenaje pluvial (Periodico Oficial, 2011).



2.2.7. USOS Y COSTUMBRES.

Como se mencionó anteriormente, Santa Fe de la Laguna es muy apegada a la religión católica por lo que en todas las tradiciones se da notar la religión que Don Vasco inculcó, cabe mencionar que aunque 168 personas dijeron en el 2010 no ser católicas, todos participan en ellas por costumbre, para poder convivir con la familia, etc. Todas las festividades que se describen a continuación datan de la época de la conquista, excepto una.

Enero 6.

Toda la semana del 1 al 6 de enero y aun antes de la navidad se celebra la fiesta de los Santos Reyes. Las danzas de las muchachas pastoras recorren el pueblo cantando alabanzas al Niño Jesús. Van de visita a las casas que tienen al Niño Dios o donde les quieran dar posada y reciben ahí tamales de trigo con atole de sabor. Las visitas que hacen lo hacen con buena fe, con buena intención, con el propósito de bendecir al hogar se podría decir. Las muchachas se visten con sus mejores "rollos" y Huanengos, se cruzan en el pecho los rebozos nuevos y lo hacen por 15 días. Después ellas prestaran a los muchachos sus fajas bordadas para que se disfrazen de "thareskuas" del 7 al 8 de enero.

Celebración de la Candelaria (2 de febrero)

Realización de palmas con adornos de flores naturales en el espacio de convivencia social del "Hospital Pueblo" (Cruz Lucas, 2013).

Fiesta del Carnaval (7, 8 y 9 de marzo)

En ésta fiesta resalta la participación de las mujeres las que llevan el cargo todo el año en el *lurix* ("Hospital Pueblo") y se les denomina *vaqueras*, durante tres días visitan en la casa de las Autoridades de los tres niveles (Cruz Lucas, 2013).

Semana santa (abril).

Otra manifestación que realizan los habitantes de Santa Fe es la de semana santa inicia al igual el día jueves santo con el recorrido a las 8 capillas, para el viernes santo, se lleva a cabo la representación del viacrucis el cual va recorriendo la mayoría de las calles de la comunidad, es una manifestación religiosa en donde los habitantes de esta comunidad participan para la representación del viacrucis, las mujeres rezan y visten este día su indumentaria típica, realizan las comidas propias a las fechas de cuaresma, como son las "akumarhas", charales, pescado con corundas, nopal, etc.

Corpus Crhisti (junio).

Ésta festividad no tiene un día específico que marque el calendario, se lleva a cabo el domingo correspondiente a esa fecha. Un día previo (sábado) los muchachos "comisionados" adornan la entrada de la iglesia en la tarde con chúspata y las muchachas "comisionadas" les dan de comer y en la noche los ocho grupos de muchachos de los ocho barrios van a la jefatura de tenencia con bebidas alcohólicas y cigarros a dialogar como en plan de pedir permiso para participar en la festividad como un pueblo unido.

El día domingo se lleva a cabo una misa a medio día, donde saliendo las muchachas y muchachos se organizan en sus respectivos barrios, las muchachas hacen collares de pan de harina, plátano y piña para ponérselos a los muchachos los cuales en agradecimiento



les dan refrescos. En breve las autoridades (jefes de tenencia) pasan por ellos haciendo un recorrido en los ocho barrios, primero pasan por el barrio San Juan I, después San Pedro I, San Sebastián I, San Sebastián II, Santo Tomás II, Santo Tomás I y San Pedro II, esto lo hacen música (banda) y bailando, convergiendo en la plaza. Las muchachas avientan pan de harina, los señores trastes como cucharas, vasos, cubetas. Al último pasan a las áreas verdes de la iglesia donde la banda toca y la gente baila mientras ven a los hombres competir por subir al palo encevado, el cual mide de 20 a 25 metros, para bajar el premio de la cima. El premio del año 2017 consistió en: unas botas, un reboso, un cobertor, un pantalón de hombre, camisa, chamarra, panal de abeja.

Asunción de la Santísima Virgen (15 Agosto)

Realización de las palmas con adornos de flores naturales en el espacio de convivencia social del “Hospital Pueblo” (Cruz Lucas, 2013).

Fiesta patronal del “Señor de la Exaltación” (14 de septiembre).

El 12 de septiembre se realiza un concurso artesanal acompañado de un festival de música *p'urhépecha* como víspera. El 14 se hace la fiesta del Señor de la Exaltación de la Santa Cruz (altar mayor). La tradición se dice que el cristo esta hecho como piedra del Tzirate, es un monolito en escultura tamaño casi natural. Dos sacerdotes principales encabezan a cien cargueros que se encargan de la fiesta y se reparten gastos. Dos castillos, dos bandas de música organizadas y pagadas por el “rincón” y la “salida”. Feria de la plaza. Acuden de muchos pueblos tarascos del lago y de la sierra. Misa mayor. La feria de juegos mecánicos y lotería dura cuatro días más (figura 24).



Figura 24. Fiesta Patronal del “Señor de la Exaltación” en Santa Fe de la Laguna.
Fuente: fotografía propia.

Una semana después (21 de septiembre) se vuelve a celebrar la misma festividad pero ya no tan grande como la del 14.

Para poder culminar ésta festividad la gente del pueblo acostumbra subir al Tzirate donde hay una capilla donde se hace una misa como para terminar de venerar a éste Cristo. Es a finales del mes de septiembre, depende del día que diga el Padre.

Ésta festividad es la única que no data de la época de Don Vasco, se agregó después y se decidió que ésta sería la fiesta más grande del pueblo debido a su leyenda.

Celebración de la Virgen del Rosario (7 de octubre).

Realización de palmas con adornos de flores naturales en el espacio de convivencia social del “Hospital Pueblo” (Cruz Lucas, 2013).

Día de muertos (1 y 2 de noviembre).

El primero de noviembre se lleva a cabo una misa en honor a todos los difuntos que ya no están con nosotros, en las casas hacen comida especial: Atole con piloncillo, chocolate con pan y pozole.

La celebración da inicio durante la noche del primero a la mañana del 2 de noviembre en la comunidad de Santa Fe de la Laguna se acostumbran realizar un altar en las casas de los muertos que hubo ese año, el cual consta de imágenes religiosas, fotografías y objetos



personales del deudo, para evocar su presencia se encienden velas alrededor de un cruz de cempaxúchitl.

Los fieles difuntos: misas, altar de difuntos en cada casa, llevar el altar al panteón con la ofrenda de pan, fruta y figuras de azúcar (figura 25). Luego uno va a rezar por los seres queridos que ya no están con nosotros (responso) en la iglesia.



Figura 25. Día de muertos en Santa Fe de la Laguna.
Fuente: fotografía propia.

Fiesta de San Nicolás de Bari (jaripeo 6, 7 y 8 de diciembre).

Como víspera se realiza un festival de *pirekuas* el día 4. En ésta festividad se asemeja en la parte de que se hacen “comisiones” de muchachas y muchachos. En el día 6 se lleva a cabo una misa como a la 1:00 pm, luego la procesión como a las 5:00 pm y se quema un castillo y en la noche un baile con banda en la plaza.

El día 7 se preparan 4 barrios para participar, se sigue casi la misma dinámica que en la festividad del Corpus Christi a diferencia de que termina el recorrido en la Plaza de Toros de la comunidad donde hay baile y jinetes montando toros, al llegar la noche la gente camina hacia la plaza con la banda donde se da continuación al baile.

El día 8 se hace lo mismo que el día 7 pero con los 4 barrios restantes.

Dos castillos, de Misa episcopal, confirmaciones, danza de los Moros. Priostes, cargueros, comida en la casa de los cargueros, dos bandas. El prioste principal tiene la autoridad total del pueblo por ese día.

Antes de que apareciera la Fiesta del 14 de Septiembre hubo una época en que ésta era la fiesta más grande del pueblo ya que no sólo duraba 3 días como hoy en día, si no 8.

Exposición de luminarias (9 al 12 de diciembre).

La gente acostumbra a poner fogatas a fuera de sus casas en espera de la llegada de la Virgen de Guadalupe (Cruz Lucas, 2013). Se ha visto que se extiende hasta año nuevo y que no es una costumbre particular de la comunidad.



Niño Dios (24 de diciembre).

Inicio de la celebración en la casa del carguero para recibir a *Tata Ninu* (Niño Dios) con la participación de las pastoras y ermitaños. Visitando toda la comunidad durante 16 días, del 22 de diciembre al 6 de enero (Cruz Lucas, 2013).

2.2.8. PRECEDENTES.

La tasa de generación de residuos sólidos en Santa Fe siempre ha sido pequeña (0.72 kg/hab/día) y a pesar de que ésta tasa ha sido menor obviamente en años anteriores aunado a que las actividades económicas están más orientadas a actividades artesanales y agropecuarias que a las industrializadas al igual que el consumismo, sí representan un serio problema al ambiente los residuos generados ya que a día de hoy no se cuenta con un sitio de disposición final adecuado que cumpla con la normativa. La cabecera municipal no proporcionaba un servicio de recolección si no hasta el año 2000, anterior a esto, los habitantes ante la necesidad de desechar sus residuos sólidos se acostumbraron a tirar la basura en barrancas, en un tiradero a cielo abierto que se ubica cerca de Chupícuaro, en las orillas del lago o se quemaba cielo abierto debido a la falta de educación sobre el cuidado del medio ambiente que había en los habitantes y que a día de hoy es un aspecto que todavía hay que corregir.

El tiradero a cielo abierto data de 1980, previamente en la zona se extraía arena de donde quedó una zanja que el ayuntamiento de Quiroga utilizó como basurero a cielo abierto mandando su camión recolector a vaciar en ésta zona, cerca de Chupícuaro a unos metros de la carretera. Los habitantes de Santa Fe de la Laguna, al ver la basura que se estaba acumulando, empezaron a utilizarla también como sitio de disposición final al cual hoy día se le sigue depositado basura de manera clandestina por los locales ya que se había prohibido en 2000 seguir utilizándolo como tal, fue un acuerdo que se hizo entre la misma población y los jefes de tenencia son los encargados de vigilar que se cumpla.

A principios del año 1999, gracias a que la comunidad fue beneficiada con el programa de apoyo denominado en ése entonces "PROGRESA" para comunidades de escasos recursos el cual tiene como prioridades los rubros de salud, educación y alimentación, fueron aproximadamente 480 madres de familia quienes recibieron el apoyo. En el apartado de salud las madres de familia recibieron educación en la clínica de la comunidad, las cuales constaban en pláticas de prevención de enfermedades ya que para esas fechas la basura representaba un serio problema, fue ahí donde se les explicó que no podían tener la basura acumulada dentro de la comunidad como lotes baldíos, barrancas, etc. Las madres de familia tomaron acciones y acordaron hacer "faenas" cada mes, las cuales consistieron en limpiar los lugares donde los habitantes acostumbraban tirar basura, desgraciadamente al no contar con un sitio de disposición final y menos con un servicio de recolección las madres de familia quemaron la basura para deshacerse de ella, lo cual, para el caso de la señora Margarita Barajas Fermín, tuvo repercusiones en sus vías respiratorias al exponerse a los gases liberados en la combustión de plásticos ya que no puede volver a exponerse, de lo contrario sufre primero pérdida de voz, luego tos y después flemas. A la fecha se siguen haciendo "faenas" por parte de las madres de familia siguen siendo parte de ése programa, sin embargo, nunca la población entera ha sido beneficiada de éste programa por no cumplir los requisitos de ésta, la que en la actualidad se llama "PRÓSPERA", lo que nos indica que hay familias presentes que nunca han recibido educación sobre el cuidado del medio



ambiente y ésta es la población que tiene altas probabilidades que siga conservando los malos hábitos antes mencionados.

En 1999 el programa “PROGRESA” en colaboración con el ayuntamiento de Quiroga cita a las comunidades en la cabecera municipal para ver los problemas que tenían y fue en ése entonces cuando la comunidad exigió que se le brindara el servicio de recolección para apoyar las actividades de “faena” de las madres de familia. A partir del año 2000 hasta la fecha, el municipio de Quiroga manda un camión recolector que brinda servicio a una zona diferente todos los días, cubriendo en la semana toda la comunidad de Santa Fe.

En la clínica del IMSS de la comunidad fundada en 1977 el manejo y destino final que se le daba a los residuos peligrosos era enterrarlos en una zanja que se cerró en 2009, luego se abrió un horno incinerador el cual tuvo el último uso en el año 2012.

El proyecto “Niños de santa Fe” en el 2013 con ayuda de las madres de familia limpió de manera significativa el tiradero abierto cerca de Chupícuaro que para éstas fechas había montones de basura esparcidos por doquier cerca de la zanja incluyendo a ésta también. Llamaron un camión de volteo del ayuntamiento de Quiroga quien se encargó de trasladar la basura recolectada en esa limpieza a su basurero.

2.2.9. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.

Los lugares turísticos como la plaza, el templo, el “hospital” y el parque de Chupícuaro carecen de depósitos de basura por lo que los visitantes no tienen dónde depositar sus residuos, a pesar de esto han demostrado tener conciencia y nos ayudan a mantener éstos lugares limpios.

Por otra parte en las fiestas patronales los visitantes y locales dejan la basura por doquier, en el caso de la plaza, las personas que viven cerca se encargan de limpiarla al día posterior y en los días normales hay un encargado de limpiarla. En la actualidad hay dos tambos que fungen como depósitos de basura que normalmente se encuentran uno en frente de la jefatura de tenencia y otro en la parte norte de la plaza en frente de la entrada al templo, puestos por los mimos jefes de tenencia, los cuales son inadecuados ya que revuelve los residuos orgánicos con los inorgánicos e insuficientes porque dos tambos no puede cubrir los 2,900 m² que comprende la plaza principal de Santa Fe de Laguna y sobra decir que no tienen tapa (figura 26).



Figura 26. Tambos para la basura en la plaza de Santa Fe de la Laguna.

Nota: la foto a) corresponde la vista a la plaza, la b) corresponde la vista e planta y la c) corresponde la vista a la jefatura de tenencia.

Fuente: fotografías propias.

En el templo no se cuenta con ningún tipo de recipiente para la basura pero siempre se hace un esfuerzo por mantenerla limpia, es una responsabilidad que recae en 30 personas que se ofrecieron como voluntarios que se les conocen como “cabezas de día”, a cada uno de ellos les toca limpiar los 6,300 m² que comprende las áreas verdes del templo un día al mes, por lo que al finalizar el año cada una de éstas personas habrán limpiado el templo 12 veces si recibir ninguna remuneración a cambio (figura 27).



Figura 27. Templo de Santa Fe de la Laguna.
Fuente: fotografía propia.

En el "Hospital" (figura 28) los encargados de limpiarla es la familia que esté encargada de abrirla al público, dicha familia estará representando a su barrio por 45 días, como son 8 barrios pasaran 8 familias a lo largo del año.



Figura 28. "Hospital Pueblo" de Santa Fe de la Laguna.
Fuente: fotografía propia.

En el parque Chupícuaro hay un trabajador por parte de la jefatura de tenencia que se encarga de limpiarla, éste servicio se ha dado desde el 2015 (figura 29). Actualmente hay un remolque viejo que funge como depósito de basura el cual obviamente es inadecuado ya que revuelve los residuos orgánicos con los inorgánicos e insuficiente para cubrir los



25,000 m² (2.5 hectáreas) de área verde que comprende el parque de Chupícuaro, y aparte que no tiene tapa se puede decir que tampoco tiene fondo puesto que está roto (figura 30).



Figura 29. Servicio de limpieza en el parque de Chupícuaro.
Fuente: fotografía propia.



Figura 30. Recipientes para la basura en Chupícuaro.
Fuente: fotografías propias.



El tiradero a cielo abierto se ubica a 1.5 kilómetros al oeste de la localidad, en las coordenadas 19°40'43.07"N y 101°34'28.63"O (19.678637,-101.574626) es una zanja donde no hay ningún letrero de "No tirar basura" o algún otro que deje claro que en ese lugar está prohibido tirar basura, por lo que actualmente se ve como se ilustra en la figura 31, el único letrero que hay, está sobre la carretera, a 140 m de éste (figura 32). Se puede apreciar que hay mucho material desechable debido a que los habitantes de Santa Fe acostumbran a tirar la basura derivado de reuniones o fiestas familiares aquí, tales como bodas, 15 años, etc. Éste hecho se le atribuye a la deficiencia en el servicio de recolección que sólo pasa 1 vez a la semana, entonces al no querer tener esa cantidad de basura en sus hogares hasta que pase el camión optan por desecharla en el "basurero" de Chupícuaro, o la llevan hasta el basurero de Quiroga.



Figura 31. Tiradero de Chupícuaro.
Fuente: fotografía propia.

El tiradero de Chupícuaro causa un fuerte impacto al medio ambiente ya que genera contaminación al aire y al subsuelo por medio de los lixiviados hacia los mantos freáticos que fluyen hacia el lago (PERIODICO OFICIAL, 2011).

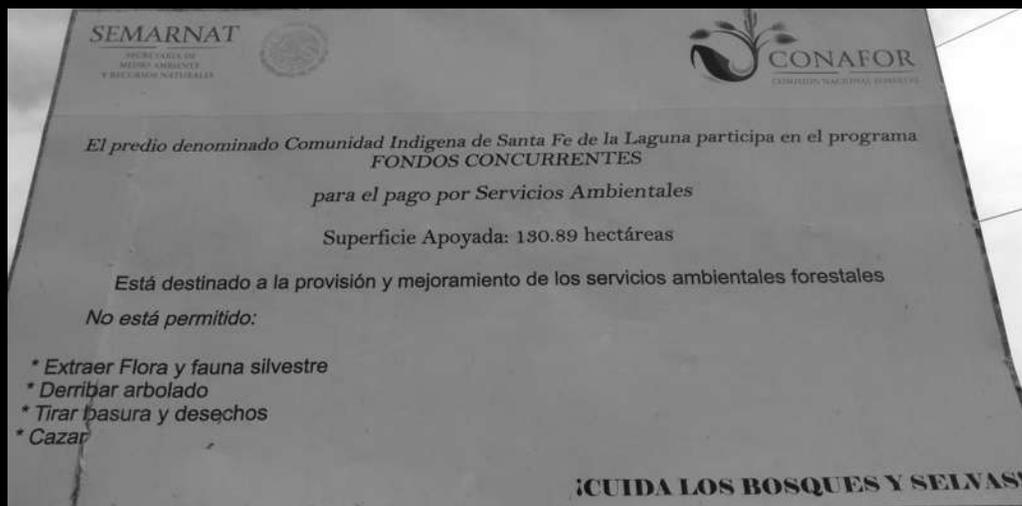


Figura 32. Letrero de no tirar basura de Chupícuaro.
Fuente: fotografía propia.

En la clínica del IMSS de Santa Fe de la Laguna se genera al día aproximadamente 1 bolsa de polietileno de residuos sólidos, compuestos por cartón, desechos plásticos, gasas, algodón, etc, que puede recoger el servicio de recolección municipal. El personal de la clínica hizo una petición para que pasara 2 veces a la semana ya que consideran deficiente el servicio actual. Cabe mencionar que en la clínica realizan control de Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos (R.P.B.I.) (figura 34) establecidos en la NOM 087-ECOL-SSA1-2002 para no se mezclen éstos residuos peligrosos con los residuos municipales, se depositan en contenedores especiales los cuales son recolectados por una empresa contratada por el IMSS (figura 33), y que cada año renuevan el contrato.

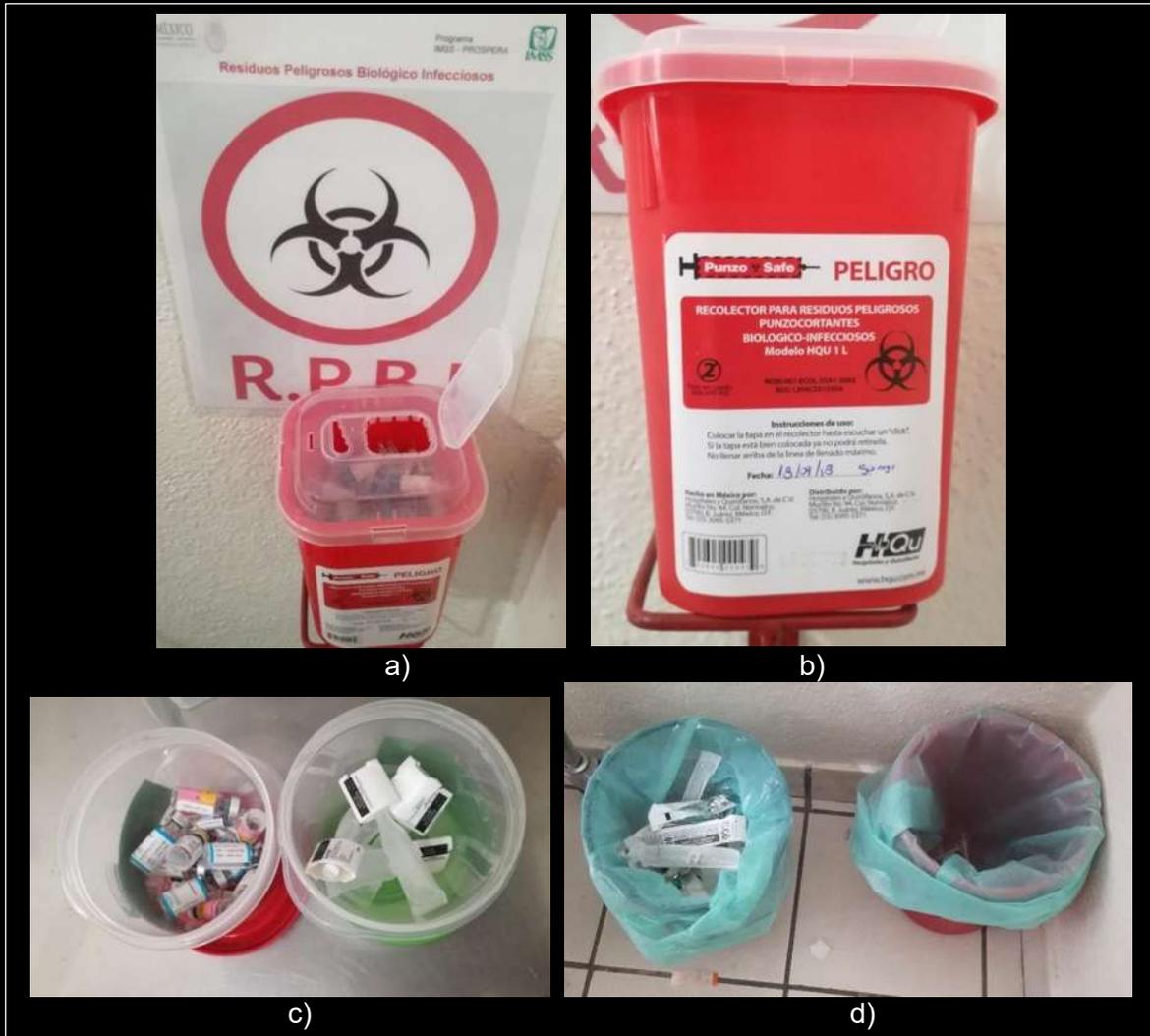


Figura 33. Manejo de Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos en la clínica de Santa Fe de la Laguna. Nota: las fotografías a) y b) corresponden al recipiente de objetos punzo-cortantes los cuales recoge una empresa y las fotografías c) y d) son de recipientes de medicamentos los cuales serán esterilizados con lo que no representarán peligro alguno y así poder ser recolectados por el servicio de recolección municipal. Fuente: fotografías propias.

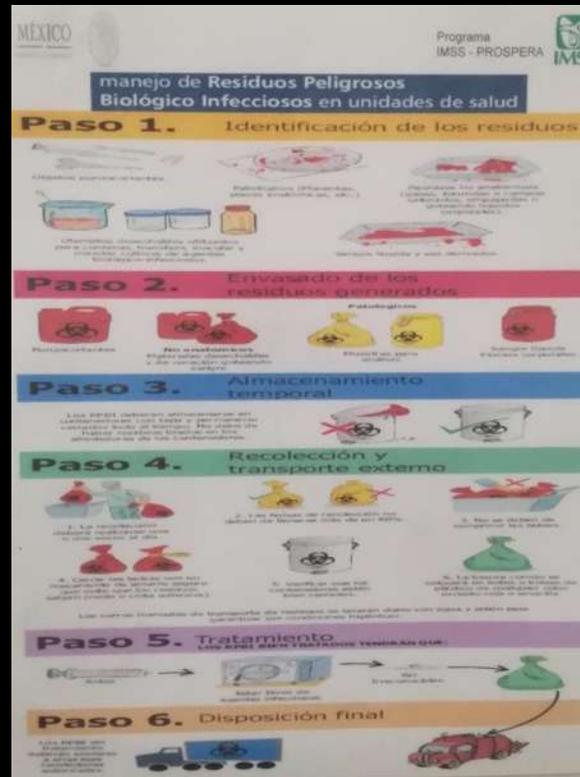


Figura 34. Guía para el manejo de Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos de la clínica de Santa Fe de la Laguna.

Fuente: IMSS.

En Santa Fe de la Laguna los residuos sólidos generados en los hogares no son separados y son entregados así al servicio de recolección, el cual usa el método de esquina y tiene un horario que varía entre 8:30 am a 12:00 pm. El camión recolector manda los residuos a un tiradero a cielo abierto para su disposición final ubicado en Quiroga, el cual cabe mencionar que no fue diseñado como relleno sanitario y que no sólo deposita los residuos sólidos de Santa Fe de la Laguna, si no que por ser cabecera municipal deposita los residuos recolectados en las comunidades que lo conforman, que incluyen adicionalmente a; San Jerónimo Purenchécuaro el cual tenía 1,978 habitantes en el censo del INEGI del año 2010, San Andrés Ziróndaro con 2,302 habitantes y cuatro rancherías: Caríngaro, Atzimbo, Sanambo e Icuacato con 489 habitantes y obviamente Quiroga el cual registró 14,699 habitantes para el 2010. El camión recolector ingresa actualmente al basurero de Quiroga más de 20 toneladas diarias, de las cuales un rango de 3.5 a 4.0 toneladas provienen de la localidad de Santa Fe (figura 35), la cual hace 8 años registró en el último censo 4,879 habitantes.



Figura 35. Servicio de recolección de residuos sólidos municipales en Santa Fe de la Laguna.
Fuente: fotografía propia.

La capacidad de la camioneta de 3 toneladas es insuficiente para recoger en una sola vuelta toda la basura que la espera en la ruta de la semana, por lo que a veces es necesario que haga hasta 3 viajes en el día.

El basurero de Quiroga era un barranco, que no parece porque ya está llenó y representa un serio problema de contaminación ya que viola las siguientes restricciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (figura 37):

- A 50 metros del basurero se encuentra un río intermitente que desemboca en el lago de Pátzcuaro al cual está contaminando (figura 36).
- No cuenta con una cerca perimetral por lo que hay libre acceso desde cualquier lado, inclusive se pudo observar vacas comiendo pasto en el sitio.
- No cuenta con una caseta de vigilancia por lo que cualquier persona puede ir en su vehículo a tirar basura.
- La basura se deposita al aire libre sin ningún control de separación.
- No tiene control de lixiviados.
- No tiene control de gases.
- A 120 metros del basurero se encuentran casas habitadas y a 200 metros una gasolinera.

A todo lo anterior se le añade que presenta encharcamientos que son un foco de enfermedades, y esas son sólo algunas de las que se pueden observar a simple vista.



Figura 36. Río intermitente ubicado a 50 metros del basurero de Quiroga.
Nota: la fotografía a) corresponde al río aguas arriba y la b) aguas abajo. La fotografía c) es una foto general el río, el lado izquierdo es aguas arriba y el derecho aguas abajo.
Fuente: fotografías propias.



a)



b)



c)



d)



Figura 37. Basurero de Quiroga.

Nota: la fotografía a) corresponde a la entrada del basurero, en la b) se puede observar una camioneta particular descargando sus residuos en la c) se puede observar una vaca comiendo pasto dentro del basurero y en la d) se puede observar las casas que se encuentran dentro de un radio de 200 metros.

Fuente: fotografías propias.

El basurero de Quiroga es un sitio no controlado de acuerdo con la definición de la NOM-083-SEMARNAT-2003.

El actual Gobierno ha mostrado una ineficiencia en el tema ecológico, pues además de ya contar con diferentes multas por no clausurar el tiradero a cielo abierto que está en el Saucito, no ha sido capaz de echar a andar la Planta de Residuos Sólidos que está en los límites con el Tigre.

En dichas instalaciones, hay una inversión despilfarrada pues cuenta ya con una báscula para el pesaje de la basura y una banda que funge como separadora de los residuos sólidos.

En diferentes ediciones de este noticiero se ha comentado que el actual alcalde no ha hecho nada por conseguir la clausura total de dicho relleno y que aunado a ello, se ha echado abajo la parcial clausura que se había hecho en el gobierno de Beto Calderón.

De seguir así, en la primavera cercana habrá de nuevo incendios, producto de la ineficacia y poca atención al cuidado del medio ambiente de este gobierno (García, 2018).



CAPÍTULO III. ESTUDIOS PRELIMINARES

3.1. ESTUDIO DEMOGRÁFICO

El número de habitantes de la Comunidad de Santa Fe de la Laguna en el periodo comprendido entre 1900 y 2010 ha presentado tasas de crecimiento variables. La población total en el último censo (2010) del INEGI registró 4,879 habitantes como lo muestra la Tabla siguiente:

Tabla 1.
Crecimiento histórico poblacional de Santa Fe de la Laguna.

CLAVE	CLAVE GEOEST	EVENTO CENSAL	FUENTE	HABITANTES	HOMBRES	MUJERES
200273	160730011	1900	Censo	1721	854	867
200273	160730011	1910	Censo	2090	1071	1019
200273	160730011	1921	Censo	1770	917	853
200273	160730011	1930	Censo	1960	996	964
200273	160730011	1940	Censo	2036	1030	1006
200273	160730011	1950	Censo	2161	1077	1084
200273	160730011	1960	Censo	2014	984	1030
200273	160730011	1970	Censo	2781	-	-
200273	160730011	1980	Censo	3308	1622	1686
200273	160730011	1990	Censo	3862	1886	1976
200273	160730011	1995	Conteo	4005	1931	2074
200273	160730011	2000	Censo	4247	2059	2188
200273	160730011	2005	Conteo	4046	1931	2115
200273	160730011	2010	Censo	4879	2307	2572
		2019		5528		
		2039		7295		

Fuente: INEGI.

Se recurrió a la NT-011-CNA-2001 para estimar la población al presente año, el cuál plantea la siguiente fórmula para ello:

$$P_{i+n} = P_i(1 + T_c)^n$$

Donde: P_i - Población que existe al iniciar el periodo de tiempo "i" (miles/millones con sólo un decimal).

P_{i+n} - Población que habrá en "n" periodos después del tiempo "i".

T_c - Tasa de crecimiento promedio entre cada par de periodos consecutivos. Expresada en valor real.

$$T_c (\%) = \left[\left(\frac{P_{i+n}}{P_i} \right)^{1/n} - 1 \right] 100$$

Para obtener la Tasa de Crecimiento (T_c) se usaron los censos de los años 2000 y 2010 debido a que en el censo del 2005 hubo un decremento de la población y no se puede tener una Tasa de Crecimiento negativa, sustituyendo los datos en las fórmulas se obtuvo una **Tasa de Crecimiento de 0.013969416 (1.3969%)** y una **Población Actual (2019) de 5,528 habitantes**, ver figura 38.



Para determinar la Población Proyecto se utilizó la misma tasa de crecimiento y se proyectó hasta el 2039 ya que la Vida Útil de nuestra propuesta será de 20 años, que según la fórmula calculó **7,295 habitantes** para ése año, ver figura 38.

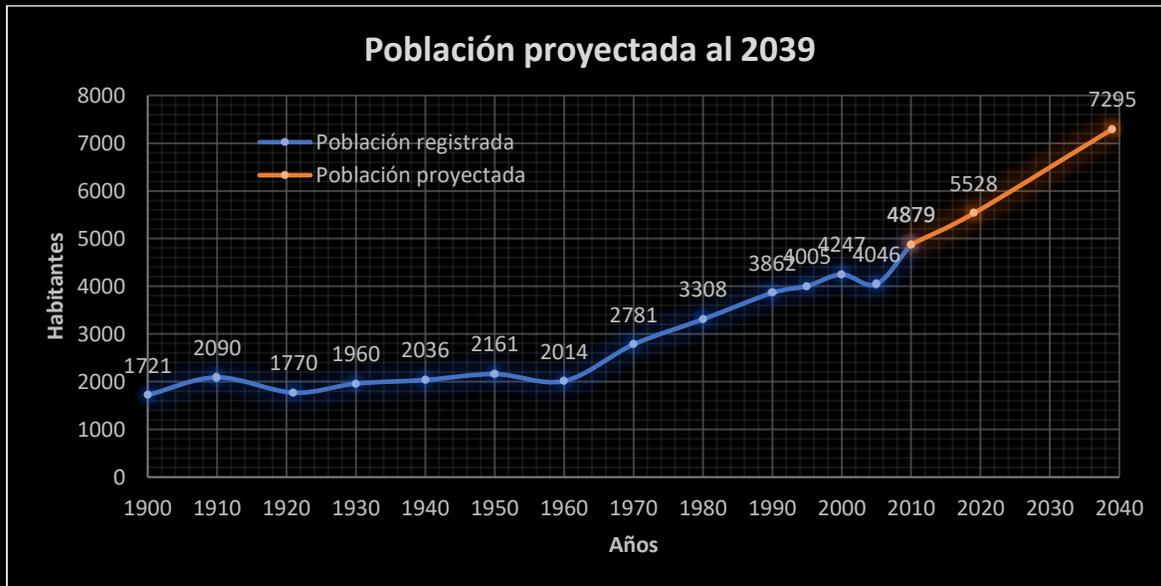


Figura 38. Población proyectada al 2039.

Fuente: elaboración propia a partir de los censos del INEGI.

3.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Los residuos sólidos urbanos son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de los establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (Diario Oficial de la Federación, 2004).

De acuerdo con la definición anterior, la mayor parte de los residuos generados de manera representativa en Santa Fe de la Laguna serán los residuos sólidos urbanos debido a que no hay empresas que puedan generar residuos en gran cantidad que sean peligrosos o residuos de componentes complejos.

Uno de los datos indispensables para empezar a adentrarse en el proyecto de un sitio de disposición final adecuado es la tasa de generación de residuos sólidos de una población para poder dimensionarla ya que muchas variables estarán en función de cuántas toneladas reciba diariamente nuestro sitio de disposición final, por ejemplo: los estudios previos, el personal y equipo necesario, etcétera, que al final afectarán el costo del proyecto. La determinación de la tasa de generación por habitante está detallada en el apartado 3.2.1.

3.2.1. TASA DE GENERACIÓN.

Para poder determinar el tipo y cantidad de residuos sólidos que se generan se debe hacer la correcta caracterización de los residuos sólidos municipales, para ello es necesario basarse en 4 normas Mexicanas:



- a) NOM-AA-61-1985 - Determinación de la generación.
- b) NOM-AA-15-1985 - Muestreo y método de cuarteo.
- c) NOM-AA-19-1985 - Peso volumétrico "IN SITU".
- d) NOM-AA-22-1985 - Selección y cuantificación de subproductos.

Pero como éste trabajo es una tesis y no un proyecto ejecutivo como tal, para determinar la Tasa de Generación se utilizó el método puntual, el cual consiste en dividir la cantidad de residuos generados entre el número de habitantes. Se acudió al ayuntamiento de Quiroga donde obtuvo el dato que la comunidad de Santa Fe de la Laguna generaba de 3 a 3.2 toneladas diarias pero como se puede apreciar, no toda la gente hace uso del servicio de recolección brindado ya que se puede ver varias zonas de la comunidad, como se mencionó anteriormente, con residuos sólidos. Por lo que tomó la decisión de considerar una generación total actual (2019) de 4 toneladas.

Dividiendo **4 toneladas** entre 5,528 habitantes resultó una tasa de generación de **0.72 Kg/hab/día**.

3.2.2. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN MICHOACÁN

La composición de los Residuos Sólidos está en función de: el sitio de generación, la forma de vida (condiciones económicas y costumbres sociales), la estación del año, así como la forma y frecuencia de recolección (Gómez, Meneses, Ballinas, & Castells, 2009). De esta forma, existen diferencias importantes en la composición de los residuos en zonas rurales, semiurbanas y urbanas y, por supuesto, entre ciudades de diferentes países y que varían en composición a través del tiempo y espacio. En un mismo lugar la composición cambia durante el año, sobre todo la fracción fácilmente biodegradable, representada principalmente por los residuos de alimentos (Robles Martínez, 2008)

Para saber la composición aproximada se recurrirá a un estudio hecho en el 2008 en el estado para reducir la tasa de generación de 0.72 Kg/hab/día ya que a un sitio de disposición final no se puede depositar materiales reciclables.

La composición de los residuos sólidos urbanos refleja el predominio de las actividades agropecuarias y de servicios en la entidad, así como el proceso de urbanización de la población en las últimas décadas, aproximadamente 50.7 por ciento de los residuos generados son orgánicos, 25.2 separables (plásticos, pet, cartón, papel, vidrio y metales) y el restante 24.1 por ciento corresponde a los sanitarios (Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2008).

Con las cifras anteriores se puede decir que **0.54 Kg/hab/día** será la tasa de generación que almacenará el sitio de disposición final de Santa Fe de la Laguna ya que corresponde al 24% de los 0.72 Kg/hab/día netos.

3.3. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS

Los residuos peligrosos son todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente. Son



responsabilidad de la federación con excepción de los micro-generadores (Wehenphol, Heredia Cantillana, Hernández Barrios, & de Buen Richkarday, 2004).

De acuerdo con la definición anterior un pequeño porcentaje de residuos sólidos generados en Santa Fe de la Laguna serán residuos peligrosos, ya que sólo los aportarán las farmacias con consultorios médicos. Se les preguntó a dos farmacias el manejo que le daban a sus residuos peligrosos como objetos punzo cortantes y objetos contaminados, y sólo uno estaba regulado por la Cofepris, quien es el encargado de regular, otorgar permisos y recolectar los residuos mencionados. En la otra farmacia, el médico comentó que no entregan esos residuos en el servicio de recolección municipal, que los almacenan en un recipiente para que un familiar los lleve al centro de salud en que trabaja, lo mismo comentó otro médico con consultorio particular de medio tiempo, que lleva sus residuos al centro de salud en el que trabaja.

3.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL

Los residuos de manejo especial son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos (Diario Oficial de la Federación, 2004). Son responsabilidad de las entidades federativas y de los municipios, se clasifican en:

- a) Residuos de las rocas o de los productos de su descomposición;
- b) Residuos de servicios de salud, con excepción de los biológico-infecciosos;
- c) Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de insumos;
- d) Residuos de los servicios de transporte generados en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias, aduanas;
- e) Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales;
- f) Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales;
- g) Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición;
- h) Residuos tecnológicos provenientes de la industria de la informática, electrónica, vehículos automotores, y
- i) Otros que determine la SEMARNAT y entidades federativas (Wehenphol, Heredia Cantillana, Hernández Barrios, & de Buen Richkarday, 2004).

De acuerdo con la definición anterior de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y su guía de cumplimiento el pequeño sector agropecuario, construcción y el de las artesanías de barro y yeso son las que aportarán éste tipo de residuos de manejo especial. Los residuos que generan la actividad económica predominante son pedazos de barro cocido y yeso producto de las artesanías que se llegan a romper.

3.5. PROPUESTA PARA LA UBICACIÓN DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL

Para poder realizar una propuesta de la ubicación del sitio de disposición final se debe tener en cuenta las especificaciones y restricciones mínimas que debe cumplir cualquier sitio de disposición final (tipo A, B, C o D) de acuerdo al apartado número 6 de la NOM-083-SEMARNAT-2003, las cuales son:



- Cuando un sitio de disposición final se pretenda ubicar a una distancia menor de 13 km del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario.
- No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en el Plan de manejo de éstas.
- En localidades mayores de 2500 habitantes, el límite del sitio de disposición final debe estar a una distancia mínima de 500 m (quinientos metros) contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano.
- No debe ubicarse en zonas de: marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas.
- El sitio de disposición final se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final.
- La distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m (quinientos metros) como mínimo.
- La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, será de 100 metros adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento, la distancia al pozo no será menor de 500 metros.

Teniendo en cuenta lo anterior, la propuesta de ubicación para el emplazamiento del sitio de disposición final se encuentra dentro del paraje conocido como “*Jatsikurheni*”, en las coordenadas: 19°40'52.28"N y 101°34'0.44"O al pie del cerro de *Ueamuo*, a 500 m de la mancha urbana de Santa Fe de la Laguna, dentro de los límites de ésta (ver figura 39).



Figura 39. Ubicación del sitio de disposición final propuesto.



Fuente: Google Earth Pro 2018.

Se realizó una visita en campo del sitio el cual presenta una topografía suave, poco accidentada y sin mucha vegetación como se puede ver en la figura 40.



Figura 40. Reconocimiento en campo del sitio.

Notas: en la fotografía superior se aprecia la zona norte del sitio mientras que en la inferior se logra apreciar todo el sitio.

Fuente: fotografías propias.

La razón por la cual se eligió éste sitio es que son pocos los lugares factibles para la ubicación de éste tipo de obras, entre más nos alejemos de la zona urbana de Santa Fe de la Laguna, más accidentada se vuelve el terreno, lo que complica más la construcción y operaciones del relleno sanitario como se puede observar en la figura 41.



Figura 41. Modelo digital de elevación enfocado a Santa Fe de la Laguna.

Fuente: INEGI clave E14A22

Nota: la escala vertical está escalado al doble.

3.6. ESTUDIOS Y ANÁLISIS PREVIOS REQUERIDOS PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO

Tabla 2.

Resumen de los requisitos y especificaciones generales para los sitios de disposición final, de acuerdo con la categorización presentada en la NOM-083-SEMARNAT-2003.

Requisitos	Tipo de sitio de disposición final			
	A	B	C	D
A. Especificaciones de selección del sitio.				
A.1 Restricciones	•	•	•	•
A.2 Estudios y análisis previos a la selección del sitio.	•			
A.3 Estudios y análisis previos a la construcción.				
A.3.1 Topográfico.	•	•		
A.3.2 Geotécnico.	•	•	•	
A.3.3 Geológico / Hidrogeológico.	•	•		
A.3.4 Generación y composición de los residuos.	•	•	•	
A.3.5 Generación de biogás.	•	•		
A.3.6 Generación de lixiviados.	•	•		
B. Características constructivas y operativas.				
B.1 Barrera impermeable.	1x10 ⁻⁷ cm/s	1x10 ⁻⁷ cm/s	1x10 ⁻⁷ cm/s	1x10 ⁻⁵ cm/s
B.2 Extracción, captación, conducción y control del biogás.	•	•	•	
B.3 Captación y extracción de lixiviados.	•	•	•	
B.4 Drenaje pluvial.	•	•	•	
B.5 Área de emergencia	•	•	•	
B.6 Compactación (Kg /m ³).	600 - 700	>500	>400	>300
B.7 Cobertura.	Diaria	Diaria	Diaria	Semanal
B.8 Control de entrada de residuos.	•	•	•	•
B.9 Obras complementarias.	Ver NOM	Ver NOM	Ver NOM	Cerca perimetral
B.10 Manual de operaciones.	•	•	•	
B.11 Programa de monitoreo ambiental.	•	•	•	
C. Clausura del sitio.				
C.1 Cubierta final.	Ver NOM	Ver NOM	Ver NOM	Ver NOM
C.2 Conformación final.	•	•	•	•



C.3 Mantenimiento.	•	•	•	•
C.4 Programa de monitoreo.	•	•	•	•
C.5 Uso final.	•	•	•	•

Fuente: Wehenphol, Heredia Cantillana, Hernández Barrios, & de Buen Richkarday, 2004.

3.6.1. ESTUDIO GEOLÓGICO

deberá determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo, se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos perforados en la zona e informes realizados por alguna institución particular u oficial.

3.6.2. ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS:

3.6.2.1. Evidencias y uso del agua subterránea.

Definir la ubicación de las evidencias de agua subterránea, tales como manantiales, pozos y norias, en la zona de influencia, para conocer el gradiente hidráulico. Asimismo, se debe determinar el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio.

Se midió el nivel freático de dos pozos ubicados dos casas, una ubicada en la C. *Sicuirancha* la cual está a nombre de José Luis Bautista Mejía, como la comunidad carece de numerología en casas sus coordenadas son 19°40'17.86"N, 101°33'7.26"O cuya profundidad del nivel de aguas freáticas con respecto al terreno fue de 3.60 m y la segunda casa ubicada en la C. *Juchari Uinapekua* la cual está a nombre de Teresa Bautista Valentín, en las coordenadas 19°40'17.67"N, 101°33'12.32"O registró una profundidad de 3.05 m. Santa Fe de la Laguna se encuentra asentado en un valle por lo que las tierras al norte y oeste son más elevadas y la ubicación de la propuesta se encuentra al noroeste, la diferencia de elevaciones entre ésta y la zona donde se midieron los pozos es de 71 m aproximadamente por lo que se puede pensar que el nivel de aguas freáticas se puede encontrar a una profundidad de 6 m o más. Se midió otro pozo en las coordenadas 19°40'2.16"N, 101°33'10.08"O en una zona de inundación, a 400 m de la orilla del lago cuya diferencia en elevaciones es de 8 m con respecto a los primeros pozos por lo que registró una profundidad de 0.85 cm, además el propietario de un terreno de esa zona comentó que en épocas de lluvia el pozo se llenaba hasta el nivel del terreno natural y que el terreno enlodece.

3.6.2.2. Identificación del tipo de acuífero.

Identificar las unidades hidrogeológicas, tipo de acuífero (confinado o semiconfinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero.

3.6.2.3. Análisis del sistema de flujo.

Determinar la dirección del flujo subterráneo regional.

3.7. ESTUDIOS Y ANÁLISIS EN EL SITIO, PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL



La realización del proyecto para la construcción y operación de un sitio de disposición final debe contar con estudios y análisis previos, de acuerdo al tipo de sitio de disposición final especificado en la Tabla 2.

3.7.1. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Se debe realizar un estudio topográfico incluyendo planimetría y altimetría a detalle del sitio seleccionado para el sitio de disposición final.

3.7.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO

Se deberá realizar para obtener los elementos de diseño necesarios y garantizar la protección del suelo, subsuelo, agua superficial y subterránea, la estabilidad de las obras civiles y del sitio de disposición final a construirse, incluyendo al menos las siguientes pruebas:

3.7.2.1. Exploración y Muestreo:

- Exploración para definir sitios de muestreo.
- Muestreo e identificación de muestras.
- Análisis de permeabilidad de campo.
- Peso volumétrico In-situ.

3.7.2.2. Estudios en laboratorio:

- Clasificación de muestras según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos.
- Análisis granulométrico.
- Permeabilidad.
- Prueba Proctor.
- Límites de Consistencia (Límites de Atterberg).
- Consolidación unidimensional.
- Análisis de resistencia al esfuerzo cortante.
- Humedad.

Con las propiedades físicas y mecánicas definidas a partir de los resultados de laboratorio, se deben realizar los análisis de estabilidad de taludes de las obras de terracería correspondientes.

3.7.3. EVALUACIÓN GEOLÓGICA

- Se deberá precisar la litología de los materiales, así como la geometría, distribución y presencia de fracturas y fallas geológicas en el sitio.
- Se deberán determinar las características estratigráficas del sitio.

3.7.4. EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA

- Se deben determinar los parámetros hidráulicos, dirección del flujo subterráneo, características físicas, químicas y biológicas del agua.
- Se deben determinar las unidades hidrogeológicas que componen el subsuelo, así como las características que las identifican (espesor y permeabilidad).

3.8. ESTUDIOS DE GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN



3.8.1. GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y DE MANEJO ESPECIAL

Se deben elaborar los estudios de generación y composición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial de la población por servir, con proyección para al menos la vida útil del sitio de disposición final.

3.8.2. GENERACIÓN DE BIOGÁS

Se debe estimar la cantidad de generación esperada del biogás, mediante análisis químicos estequiométricos, que tomen en cuenta la composición química de los residuos por manejar.

3.8.3. GENERACIÓN DEL LIXIVIADO

Se debe cuantificar el lixiviado mediante algún balance hídrico.



CAPÍTULO IV. MEMORIA DESCRIPTIVA

4.1. ANÁLIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA PROPUESTA A LAS ESPECIFICACIONES DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003

La evaluación técnica del área seleccionada para la construcción del sitio de disposición final de Santa Fe de la Laguna se hizo con base a los lineamientos que indica la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, la cual establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados para la disposición final de residuos sólidos municipales, y sujetándose a estos lineamientos la propuesta presenta la siguiente evaluación.

Tabla 3.
Evaluación técnica del cumplimiento de las especificaciones del sitio propuesto.

Especificaciones y/o restricciones	Cumplimiento	Dictamen y/o comentarios
Cuando un sitio de disposición final se pretenda ubicar a una distancia menor de 13 km del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario.	✓	El aeropuerto más cercano se encuentra a un radio de 56.657 km, el Aeropuerto Internacional de Uruapan.
No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en el Plan de manejo de éstas.	✓	La área natural protegida más cercanas se encuentran a un radio de 19.735 km, el mirador Cerro del Estribo Grande ubicado en Pátzcuaro.
En localidades mayores de 2500 habitantes, el límite del sitio de disposición final debe estar a una distancia mínima de 500 m contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano.	✓	El límite del sitio de disposición final se encuentra a una distancia de 500 m contados a partir del límite de la traza urbana existente.
No debe ubicarse en zonas de: marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas.	✓	El sitio de disposición final está ubicado en una zona destinada a la agricultura.
El sitio de disposición final se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final.	✓	El sitio de disposición final está ubicado a salvo de zonas de inundación.
La distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m como mínimo.	✓	La distancia de ubicación del sitio de disposición final con respecto al lago de Pátzcuaro es de 1,200 metros y al este, a 500 m pasa un río intermitente.
La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de	✓	No existen pozos de extracción de agua en un radio de 500 metros ya que el nivel



extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, será de 100 m adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento, la distancia al pozo no será menor de 500 m.		freático es profundo y el pozo de agua que abastece a la población se encuentra a una distancia de 1,340 metros.
---	--	--

Nota: ✓ = sí cumple, X = no cumple.

Por lo antes expuesto, se cumple con los apartados 6.1.1 al 6.1.7 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 en relación con el sitio de construcción del relleno sanitario; por lo que se llega a la conclusión de que **el sitio propuesto es totalmente factible para el establecimiento y construcción del sitio de disposición final de residuos sólidos.**

4.2. VIDA ÚTIL

Para determinar la capacidad del Relleno Sanitario se tendrá que realizar una estimación de la cantidad de residuos sólidos que tendrá que almacenar a lo largo de su vida útil de 20 años. Dicha estimación se encuentra en la tabla 4, la cual fue hecha considerando la tasa de 0.54 Kg/hab/día constante.

Tabla 4.
Capacidad del sitio de disposición final a lo largo de la vida útil.

Año	Población (hab)	Tasa de generación (Kg/hab/día)	Cantidad de RS		
			Diaria (Ton/día)	Anual (Ton/año)	Acumulada (Ton)
2019 (0)	5528	0.54	3.000	1095.000	1095.000
2020 (1)	5605	0.54	3.042	1110.297	2205.297
2021 (2)	5683	0.54	3.084	1125.807	3331.103
2022 (3)	5763	0.54	3.127	1141.534	4472.637
2023 (4)	5843	0.54	3.171	1157.480	5630.117
2024 (5)	5925	0.54	3.215	1173.649	6803.766
2025 (6)	6008	0.54	3.260	1190.045	7993.811
2026 (7)	6092	0.54	3.306	1206.669	9200.480
2027 (8)	6177	0.54	3.352	1223.525	10424.005
2028 (9)	6263	0.54	3.399	1240.617	11664.622
2029 (10)	6350	0.54	3.446	1257.948	12922.570
2030 (11)	6439	0.54	3.495	1275.521	14198.091
2031 (12)	6529	0.54	3.543	1293.339	15491.430
2032 (13)	6620	0.54	3.593	1311.406	16802.836
2033 (14)	6713	0.54	3.643	1329.726	18132.562
2034 (15)	6807	0.54	3.694	1348.301	19480.864
2035 (16)	6902	0.54	3.746	1367.136	20848.000
2036 (17)	6998	0.54	3.798	1386.234	22234.234
2037 (18)	7096	0.54	3.851	1405.599	23639.834
2038 (19)	7195	0.54	3.905	1425.235	25065.068
2039 (20)	7295	0.54	3.959	1445.144	26510.213

Fuente: elaboración propia.



Al finalizar la vida útil se estima que albergará 26510.213 toneladas por lo que debe ser diseñada con la suficiente capacidad para ello.

4.2.1. CATEGORÍA

Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana, los sitios de disposición final se categorizan de acuerdo a la cantidad de toneladas de residuos sólidos urbanos y de manejo especial que ingresan por día, como se establece en la tabla 5.

Tabla 5.
Categorías de los rellenos sanitarios.

Categoría	Tonelaje recibido (Ton/día)	Equivalente rango en número de habitantes	Santa Fe
A	Mayor a 100	Mayor de 100,000	
B	50 hasta 100	De 50,000 hasta 120,000	
C	10 y menor a 50	De 12,000 hasta 65,000	
D	Menor a 10	Menor de 15,000	✓

Fuente: Wehenphol, Heredia Cantillana, Hernández Barrios, & de Buen Richkarday, 2004.

Como se pudo observar en la tabla 3 la cantidad máxima a ingresar diariamente al relleno es de 3.959 toneladas por lo que pertenecerá a la categoría "D".

4.2.2. REQUISITOS MÍNIMOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL CATEGORÍA D

- Garantizar un coeficiente de conductividad hidráulica de 1×10^{-5} cm/seg, con un espesor mínimo de un metro, o su equivalente, por condiciones naturales del terreno, o bien, mediante la impermeabilización del sitio con barreras naturales o artificiales.
- Una compactación mínima de la basura, de 300 kg/m^3 .
- Cobertura de los residuos, por lo menos cada semana.
- Evitar el ingreso de residuos peligrosos en general.
- Control de fauna nociva y evitar el ingreso de animales.
- Cercar en su totalidad el sitio de disposición final.

4.3. MÉTODO DE OPERACIÓN

La Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles, ASCE, define: "Relleno sanitario es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicios al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública; este método utiliza principios de ingeniería para confinar la residuos sólidos en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable y cubriendo los residuos depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria o por lo menos al fin de cada jornada".

Existen tres métodos básicos para operar un relleno sanitario, con la finalidad de colocar las capas de residuos sólidos y cubierta final en forma adecuada. Estos métodos de operación del relleno sanitario son los siguientes:

Método de trinchera:



Consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado (talud 1:3) en la trinchera, cuya profundidad varía de entre 2.00 m y 3.00 m, donde son esparcidos y compactados con el equipo adecuado en capas, hasta formar una celda que después será cubierta con el mismo material producto de la excavación, hasta llegar al nivel original del terreno natural, con una frecuencia mínima de una vez al día, esparciéndolo y compactándolo sobre los residuos.

Este método es usado normalmente donde el nivel de aguas freáticas es profundo, las pendientes del terreno son suaves y las trincheras pueden ser excavadas utilizando equipos normales para movimientos de tierra.

En la figura que aparece a continuación, se puede apreciar de forma esquemática el método de trinchera (Proyecto Ejecutivo Relleno Sanitario El Tuito, 2005).



Figura 42. Relleno Sanitario Según el Método de Trinchera.

Fuente: FUNDACIÓN AZUL AMBIENTALISTAS, s.f.

Método de área:

El método es similar al de trinchera y consiste en depositar los residuos sólidos sobre la superficie del suelo, sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas no mayores de 60 cm hasta formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo.

Este método se puede usar en cualquier terreno disponible como canteras abandonadas, inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones y ciénegas contaminadas, principalmente para el caso en que lograr excavaciones en el lugar resulte complicado por contarse con material duro, elevándose así el relleno sobre el nivel del terreno natural (figura 43); un punto importante en este método, para que el relleno sea económico, es que el material de cubierta debe transportarse de lugares cercanos a éste, de lo contrario, es necesario importar material de otro sitio para la cobertura diaria de la basura, lo cual resulta en incrementos en los costos de operación.

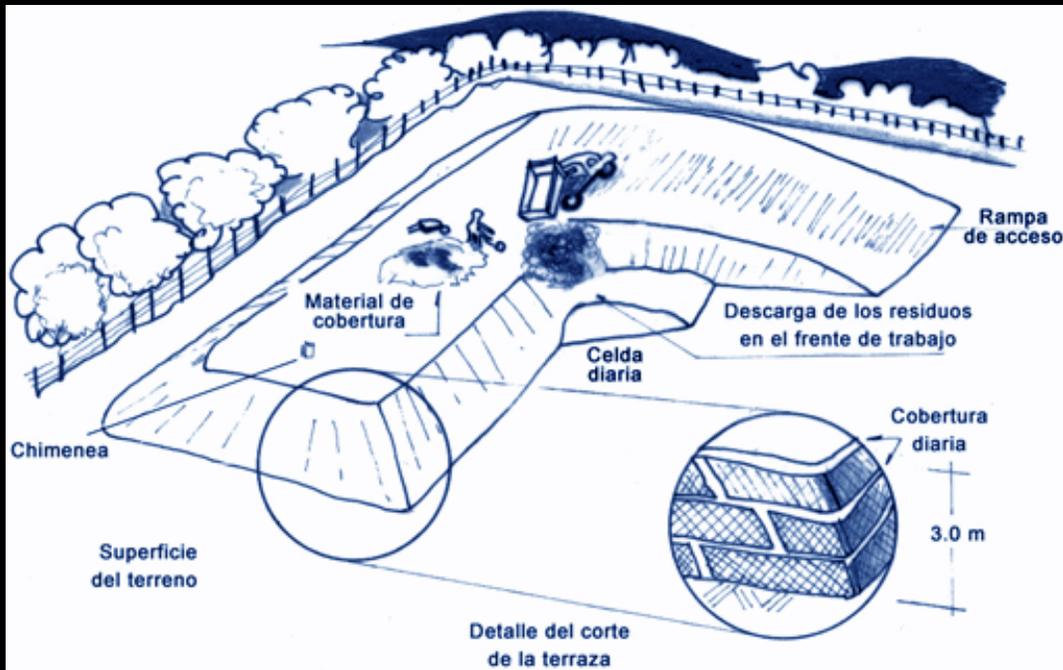


Figura 43. Relleno Sanitario Según el Método de Área.
Fuente: Jaramillo, 2002.

Método combinado:

En algunos casos, cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y fisiográficas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son apropiadas, es posible combinar ambos métodos descritos, lo cual resulta bastante práctico (figura 44); por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa con el método de área en la parte superior haciendo que las celdas que conformarán el relleno se eleven más arriba del terreno natural. Otra variación del método combinado consiste en iniciar con un método de área, se excava el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una trinchera, la cual servirá también para ser rellena.



Figura 44. Relleno Sanitario Según el Método Combinado.
Fuente: Ambiental Blog, 2010.



El método combinado es considerado el más eficiente, ya que permite ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista en el sitio en cantidad y calidad suficientes) y aumenta la vida útil del sitio.

La ubicación de la propuesta tiene las siguientes características:

- ⊕ Geología: ígnea extrusiva (basalto QhoB)
- ⊕ Suelo dominante: phaeozem
- ⊕ Uso de suelo: tierras de cultivo abandonada (agostadero)
- ⊕ Clima: templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad
- ⊕ Pendiente: 5.24% como máxima
- ⊕ Profundidad de Nivel de aguas freáticas: mayor a 6 metros

Dadas las características de la zona y de acuerdo a los métodos descritos, el diseño del sitio de disposición final se clasifica como tipo **trinchera o zanja**, según lo anteriormente presentado. La razón fundamental para aplicar este método fue que el tipo de suelo dominante es el Faozem y es permeable, el cual servirá para la cobertura intermedia.

4.4. ÁREA REQUERIDA PARA EL RELLENO SANITARIO

En la tabla 6 se muestra el método de análisis de volumen y área requerida de un relleno sanitario como lo indica la guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales (Jorge Jaramillo, Universidad de Antioquia, Colombia, 2002).

Tabla 6.
Tabla para determinar el volumen y área que requerirá del relleno.

Año	Población (hab)	Tasa de generación (Kg/hab/día)	Cantidad de RS			RS Compactados		M. de Cobertura		RS Estabilizados (m ³ /año)	MC + RSE		Área por rellenar (m ²)
			Diaria (Ton/día)	Anual (Ton/año)	Acumulada (Ton)	Diaria (m ³)	Anual (m ³)	Diaria (m ³)	Anual (m ³)		Anual (m ³)	Acumulada (m ³)	
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}
0													
1													
2													
⋮													
													Área total= Σ{13} + F
{3} = {1}*{2}	Población x tasa de generación											RELLENO SANITARIO MANUAL DENSIDAD DE LA BASURA D _S = 200 a 300 kg/m ³ Suelta D _C = 400 a 500 kg/m ³ Compacta D _E = 500 a 600 kg/m ³ Estabilizada	
{6}={3}*7/D _C	Los residuos sólidos producidos en una semana son llevados al relleno durante los días de recolección. Normalmente entre lunes y sábado (7 días de producción/6 días de recolección)												
{8} = {6}*0.2	Material de cobertura = entre 20 a 25% del volumen de residuos compactados												
{11} = {9}+{10}	Volumen del relleno sanitario V _{RS} = Material de cobertura + Residuos sólidos estabilizados												
{13} = {12}/H	Área por rellenar A _R = volumen acumulado del relleno/H H = Profundidad del relleno												
A _T = Σ{13} + F	Área total A _T = Área por rellenar + F F = Factor para estimar el área adicional (entre 20 y 30%)												

Fuente: Jaramillo, 2002, pág. 85.

El área requerida para una población al 2039 de 7,295 habitantes que generará como máximo 3.959 toneladas diarias de residuos sólidos (tasa de generación de 0.54 kg/hab/día), considerando una compactación de 500 kg/m³, 20% adicionales en volumen del material de cobertura, 20% adicionales de terreno para las instalaciones y proponiendo una profundidad de los residuos sólidos compactados de 2 m, se determinó el área requerida con el método antes mencionado en la tabla 7.



Tabla 7.
Tabla resuelta de análisis de volúmenes y áreas para el caso de Santa Fe de la Laguna.

Año	Población (hab)	Tasa de generación (Kg/hab/día)	Cantidad de RS			RS Compactados		M. de Cobertura		RS Estabilizados (m³/año)	MC + RSE		Área por rellenar (m²)
			Diaria (Ton/día)	Anual (Ton/año)	Acumulada (Ton)	Diaria (m³)	Anual (m³)	Diaria (m³)	Anual (m³)		Anual (m³)	Acumulada (m³)	
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}
2019 (0)	5528	0.54	3.000	1095.000	1095.000	8.750	3193.750	1.750	638.750	2555.000	3193.750	3193.750	1596.875
2020 (1)	5605	0.54	3.042	1110.297	2205.297	8.872	3238.365	1.774	647.673	2590.692	3238.365	6432.115	3216.057
2021 (2)	5683	0.54	3.084	1125.807	3331.103	8.996	3283.603	1.799	656.721	2626.882	3283.603	9715.718	4857.859
2022 (3)	5763	0.54	3.127	1141.534	4472.637	9.122	3329.473	1.824	665.895	2663.578	3329.473	13045.191	6522.595
2023 (4)	5843	0.54	3.171	1157.480	5630.117	9.249	3375.984	1.850	675.197	2700.787	3375.984	16421.174	8210.587
2024 (5)	5925	0.54	3.215	1173.649	6803.766	9.378	3423.144	1.876	684.629	2738.515	3423.144	19844.319	9922.159
2025 (6)	6008	0.54	3.260	1190.045	7993.811	9.509	3470.964	1.902	694.193	2776.771	3470.964	23315.282	11657.641
2026 (7)	6092	0.54	3.306	1206.669	9200.480	9.642	3519.451	1.928	703.890	2815.561	3519.451	26834.733	13417.366
2027 (8)	6177	0.54	3.352	1223.525	10424.005	9.777	3568.616	1.955	713.723	2854.892	3568.616	30403.348	15201.674
2028 (9)	6263	0.54	3.399	1240.617	11664.622	9.914	3618.467	1.983	723.693	2894.774	3618.467	34021.816	17010.908
2029 (10)	6350	0.54	3.446	1257.948	12922.570	10.052	3669.015	2.010	733.803	2935.212	3669.015	37690.830	18845.415
2030 (11)	6439	0.54	3.495	1275.521	14198.091	10.193	3720.269	2.039	744.054	2976.215	3720.269	41411.099	20705.550
2031 (12)	6529	0.54	3.543	1293.339	15491.430	10.335	3772.239	2.067	754.448	3017.791	3772.239	45183.338	22591.669
2032 (13)	6620	0.54	3.593	1311.406	16802.836	10.479	3824.935	2.096	764.987	3059.948	3824.935	49008.273	24504.137
2033 (14)	6713	0.54	3.643	1329.726	18132.562	10.626	3878.367	2.125	775.673	3102.694	3878.367	52886.640	26443.320
2034 (15)	6807	0.54	3.694	1348.301	19480.864	10.774	3932.545	2.155	786.509	3146.036	3932.545	56819.185	28409.593
2035 (16)	6902	0.54	3.746	1367.136	20848.000	10.925	3987.481	2.185	797.496	3189.985	3987.481	60806.666	30403.333
2036 (17)	6998	0.54	3.798	1386.234	22234.234	11.077	4043.184	2.215	808.637	3234.547	4043.184	64849.850	32424.925
2037 (18)	7096	0.54	3.851	1405.599	23639.834	11.232	4099.665	2.246	819.933	3279.732	4099.665	68949.514	34474.757
2038 (19)	7195	0.54	3.905	1425.235	25065.068	11.389	4156.934	2.278	831.387	3325.548	4156.934	73106.449	36553.224
2039 (20)	7295	0.54	3.959	1445.144	26510.213	11.548	4215.004	2.310	843.001	3372.004	4215.004	77321.453	38660.727

Área total (+ 20%) = 46392.872

La tabla 7 dio como resultado un espacio de 38,660.727 m² que ocuparán los residuos sólidos a los cuales se les añade un 20% adicional para instalaciones de un sitio de disposición final (baños, oficinas administrativas; vigilancia; control, cobertizo de maquinaria etc.) quedando 46392.872 m². Para satisfacer el espacio requerido se propone que el área del predio sea cuadrado, ya que el terreno lo permite, con lo que cada lado mediría 215.40 m (figura 45).

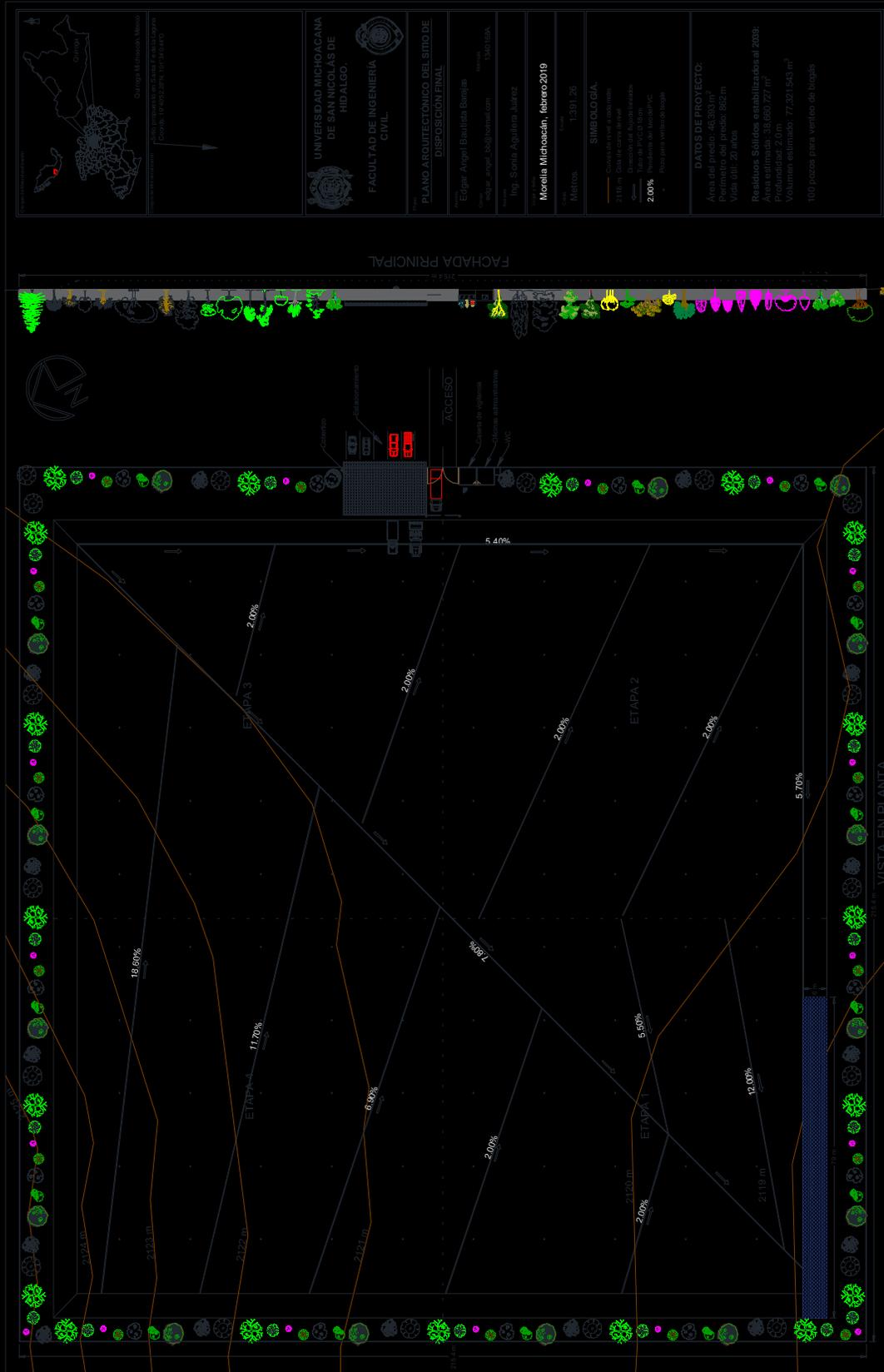


Figura 45. Plano arquitectónico del sitio de disposición final.
Fuente: elaboración propia.



4.5. SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN

Todos los sitios de disposición final deben contar con una barrera geológica natural o equivalente, a un espesor de un metro y un coeficiente de conductividad hidráulica, de al menos 1×10^{-7} cm/seg sobre la zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final; o bien, garantizarla con un sistema de impermeabilización equivalente (Diario Oficial de la Federación, 2004, pág. 8).

El agua subterránea es la fuente futura de abastecimiento más valiosa con que se cuenta para el desarrollo de las próximas generaciones, por lo que es imprescindible evitar su contaminación. Debido a lo anterior es necesario proteger los acuíferos. Su protección se puede efectuar de dos maneras: natural o artificial.

El método de impermeabilización natural consiste en aprovechar las propiedades fisicoquímicas del suelo y las características del material del subsuelo, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas por la acción de los lixiviados. De acuerdo con recomendaciones los sitios con alto contenido de arcillas (entre 0.30 y 1.00 m de espesor) y/o con capas impermeables a poca profundidad son los mejores.

El método de impermeabilización artificial, consiste en colocar materiales naturales con artificiales con el fin de evitar que los lixiviados penetren al acuífero.

Los materiales generalmente empleados son:

Naturales. Entre los naturales los más usados son las arcillas compactadas (4-6 pasadas) en la base del terreno con espesores de capa desde 20 hasta 60 cm y humedad óptima

Artificiales. Entre los materiales artificiales o sintéticos más utilizados para la impermeabilización destacan el hule, polietilenos, PVC y geomembrana de polietileno de alta densidad, material que de acuerdo con estudios realizados en diversos rellenos sanitarios en la Unión Americana, resulta de mayor confiabilidad. (Manual de Rellenos Sanitarios, SEDUE 1988 p.p. 126).

La aplicación de materiales geo-sintéticos (polietileno de alta densidad) para prevenir y controlar la contaminación del suelo y los acuíferos, es un sistema de impermeabilización eficiente que arroja resultados muy satisfactorios, que evita la contaminación al subsuelo (Consortio Ambiental y de Servicios S.A. de C.V., 1999).

Para la construcción de nuestra propuesta, se propone emplear el método de impermeabilización artificial: **sistema doble de geomembrana sintética/arcilla** empleándose material de preparación y protección desde el banco más próximo, para posteriormente colocar la geomembrana para impermeabilizar la totalidad de la superficie útil, así como para las fosas y drenes destinada a la conducción y almacenamiento de los lixiviados.

Para protección de la geomembrana contra la acción de equipos de operación, se procederá a tender sobre la geomembrana una capa de arena o de tepetate compactado, Con un espesor mínimo de 0.12 m, para que sirva como base de amortiguamiento y distribuidor de esfuerzos

4.6. CELDAS



Para cualquiera de los tres métodos de operación del relleno sanitario la unidad fundamental de operación es la celda. Se llama celda a la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos y al material de cubierta (tierra), debidamente compactada mediante equipo mecánico.

Los elementos de una celda son: altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario y del último nivel de celdas.

La altura de la celda depende de la cantidad de los residuos que se depositen, del espesor del material de cubierta, de la estabilidad de los taludes y la compactación. Mientras más altas sean las celdas, menor será la cantidad de tierra necesaria para cubrir los residuos.

El ancho mínimo de las celdas o mínimo frente de trabajo, dependerá de la longitud de la cuchilla y del equipo que se emplee en la construcción de las celdas. Se recomienda que el ancho mínimo sea de 2 a 2.5 veces el largo de la cuchilla de la maquinaria.

Con el propósito de facilitar la operación de un relleno sanitario, con base en el volumen de residuos sólidos urbanos que llegan al sitio, debe diseñarse la forma de confinamiento geométrico más adecuada tanto a las características del sitio como a la maquinaria empleada. Dicha conformación geométrica de residuos junto con el material de cubierta (tierra), recibe el nombre de celda.

Aunque el tamaño de las celdas cambia según la cantidad de residuos sólidos que llegue al relleno sanitario, todas las celdas deben tener las mismas características constructivas. Una de las principales características es que la celda debe albergar todos los residuos municipales que el relleno sanitario reciba en el transcurso de una jornada.

En el relleno sanitario cada celda de residuos sólidos debe ser, en esencia, un bloque debidamente compactado y totalmente cubierto, el cual contenga los residuos urbanos generados en un día.

Las dimensiones y volumen de la celda varían de acuerdo con la cantidad de residuos sólidos que recibe el relleno, el método de operación empleado, la superficie del terreno disponible, la maquinaria utilizada y el material de cubierta disponible en el sitio o el que se suministre de un banco cercano.

Sin embargo, las dimensiones de una celda de residuos sólidos deben regirse por las siguientes especificaciones (Consortio Ambiental y de Servicios S.A. de C.V., 1999):

a) Altura: Puede variar desde 1 a 5 m, incluyendo el espesor de la cubierta., con un talud cuya relación entre la altura y avance sea 1:2.5 hasta 1:3.

b) Largo de la celda: Este parámetro depende de las necesidades del proyecto, de la operación de cada sitio y de la superficie de terreno disponible. También está determinada por el volumen diario de residuos a disponer.

c) Ancho de la celda: Esta dimensión está condicionada por el frente de trabajo necesario para que la maquinaria funcione y maniobre adecuadamente, para realizar el acomodo y la compactación de la residuos sólidos. La celda debe tener el ancho suficiente para permitir la descarga de los equipos de recolección de residuos sólidos.



Así pues, el ancho de la celda depende de la cantidad de residuos, del tamaño de la maquinaria y de las necesidades mínimas de operación de los vehículos y las máquinas.

Para el caso particular de nuestra propuesta, como se debe de aperturar y cerrar diariamente una celda de sepultamiento, se tiene que diseñar en base a la generación diaria, la cual varía de 3.0 a 4.0 toneladas diarias a lo largo de la vida útil, las cuales deben de compactarse a 400 kg/m³ por lo que se necesita un volumen de 8.62 m³ en promedio más el 20% adicional de material de cobertura (1.72 m³), ósea una celda con 2 m de largo, 2.585 m de ancho (en promedio) y 2 m de profundidad.

Tabla 8.
Celdas.

Año	Generación Diaria (Ton/día)	Compac-tación (Ton/m ³)	Volumen					Dimensiones de celdas		
			RS (m ³ /día)	MC (m ³ /día)	requerido (m ³ /día)	Dispuesto (m ³ /año)	Acumulado (m ³ /año)	Largo (m)	Ancho (m)	Prof (m)
2019 (0)	3.000	0.4	7.500	1.500	9.000	3285.000	3285.00	2	2.250	2
2020 (1)	3.042	0.4	7.605	1.521	9.126	3330.890	6615.89	2	2.281	2
2021 (2)	3.084	0.4	7.711	1.542	9.253	3377.420	9993.31	2	2.313	2
2022 (3)	3.127	0.4	7.819	1.564	9.382	3424.601	13417.91	2	2.346	2
2023 (4)	3.171	0.4	7.928	1.586	9.514	3472.440	16890.35	2	2.378	2
2024 (5)	3.215	0.4	8.039	1.608	9.646	3520.948	20411.30	2	2.412	2
2025 (6)	3.260	0.4	8.151	1.630	9.781	3570.134	23981.43	2	2.445	2
2026 (7)	3.306	0.4	8.265	1.653	9.918	3620.007	27601.44	2	2.479	2
2027 (8)	3.352	0.4	8.380	1.676	10.056	3670.576	31272.02	2	2.514	2
2028 (9)	3.399	0.4	8.497	1.699	10.197	3721.852	34993.87	2	2.549	2
2029 (10)	3.446	0.4	8.616	1.723	10.339	3773.844	38767.71	2	2.585	2
2030 (11)	3.495	0.4	8.736	1.747	10.484	3826.562	42594.27	2	2.621	2
2031 (12)	3.543	0.4	8.858	1.772	10.630	3880.017	46474.29	2	2.658	2
2032 (13)	3.593	0.4	8.982	1.796	10.779	3934.219	50408.51	2	2.695	2
2033 (14)	3.643	0.4	9.108	1.822	10.929	3989.177	54397.69	2	2.732	2
2034 (15)	3.694	0.4	9.235	1.847	11.082	4044.904	58442.59	2	2.770	2
2035 (16)	3.746	0.4	9.364	1.873	11.237	4101.409	62544.00	2	2.809	2
2036 (17)	3.798	0.4	9.495	1.899	11.394	4158.703	66702.70	2	2.848	2
2037 (18)	3.851	0.4	9.627	1.925	11.553	4216.798	70919.50	2	2.888	2
2038 (19)	3.905	0.4	9.762	1.952	11.714	4275.704	75195.20	2	2.929	2
2039 (20)	3.959	0.4	9.898	1.980	11.878	4335.433	79530.64	2	2.969	2

Fuente: elaboración propia.

4.6.1. PROCESO DE DEGRADACIÓN

En general la biodegradación de los residuos sólidos sigue un patrón de cinco etapas (Tchobanoglous, Theisen, & A. Vigil, 1998), las cuales no se basan en datos observados en laboratorio o en campo, sino que son consideraciones teóricas (Laner, 2011). Cada una de estas fases o etapas se muestra en la figura y se describen brevemente a continuación:

Fase I (degradación aerobia)

Es una fase relativamente corta, comienza cuando los componentes orgánicos biodegradables son colocados en el relleno sanitario y estos sufren una descomposición biológica bajo condiciones aerobias.

Fase II (degradación anaerobia)



En esta fase comienza a descender la concentración de oxígeno e inician las condiciones anaerobias, ocurre un proceso de fermentación en el que es o no posible la formación de lixiviados. En caso de que existan lixiviados el Ph de esta fase líquida comienza a caer por el incremento de ácidos grasos volátiles (AGV) y al efecto de las elevadas concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) dentro del medio.

Fase III (acetogénesis)

En esta fase se acelera la actividad microbiana inicia en la fase anterior con la producción de cantidades significativas de AGV y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno. El lixiviado de esta fase tiene las siguientes características.

- El valor del pH frecuentemente caerá hasta 5 o menos, debido a la presencia de los ácidos orgánicos y por las elevadas concentraciones de (CO_2).
- La conductividad se incrementará significativamente a causa de la disolución de ácidos orgánicos.
- En el lixiviado se encontraran diluidos algunos constituyentes inorgánicos, principalmente metales pesados y algunos nutrientes en el medio líquido, debido a los bajos valores del pH.
- Las demandas bioquímicas y químicas de oxígeno (DBO y DQO) incrementan.

Fase IV (metanogénesis)

Esta fase se caracteriza por la conversión del ácido acético y el gas de hidrógeno en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), la producción de metano alcanza su más alto nivel. El lixiviado de esta fase tiene las siguientes características:

- Los AGV en el lixiviado de descomponen inmediatamente en biogás.
- Su carga orgánica es baja y consiste principalmente de componentes orgánicos de alta biodegradabilidad.
- Como las condiciones son eminentemente anaeróbicas los lixiviados tendrán una alta concentración de amoníaco.
- El valor de pH del lixiviado subirá a un rango neutro de 6.8 a 8, debido a la transformación de los ácidos y el gas de hidrógeno en CH_4 y CO_2 .
- Lo anterior causa también que el valor de la conductividad se reduzca.
- La concentración de los constituyentes inorgánicos, así como de los metales pesados son bajos debido al incremento del pH.

Fase V (maduración)

Esta fase es mucho menos activa en cuanto a la generación de gases se refiere, viene caracterizada por una disminución de la humedad y la conversión del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles.

La velocidad de generación del gas de relleno sanitario disminuye significativamente, porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han diluido en el lixiviado durante las fases anteriores, y los sustratos quedan en el medio sólido son de una degradación lenta (Olascoaga Guerrero, 2014).

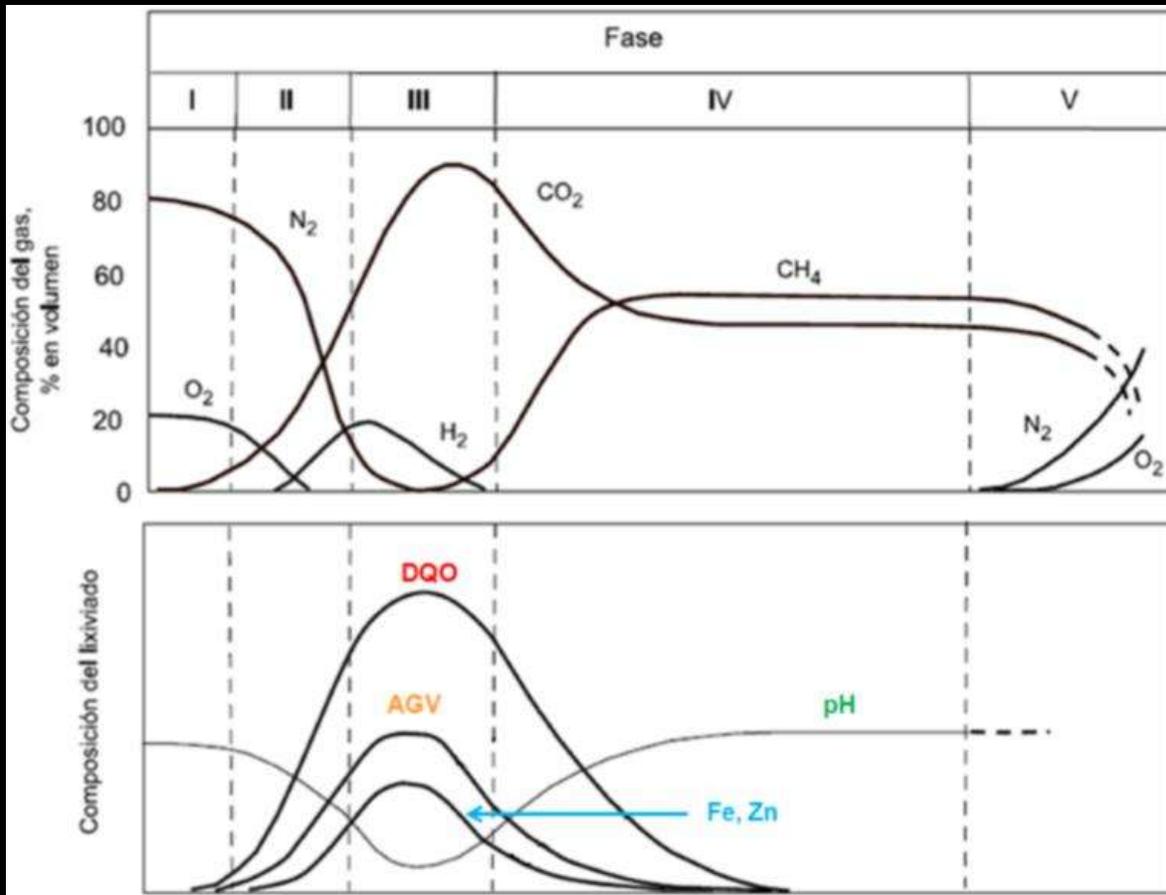


Figura 46. Características de gas y lixiviado de un relleno sanitario.
Fuente: Tchobanoglous, Theisen, & A. Vigil, 1998.

4.7. MATERIAL DE COBERTURA

El material de cubierta tiene las siguientes funciones: impedir la entrada y salida de fauna nociva, reducir la emisión de biogás, los malos olores y evitar incendios así como también disminuir la entrada de agua. Las pruebas experimentales realizadas en diversos rellenos sanitarios de los E.U.A. han demostrado que una capa de 15 cm de material arenoso compactado al 95% proctor cumple con estos requisitos. La aplicación diaria de la cubierta reduce la atracción de los residuos sobre las aves y los roedores en busca de alimento y es esencial para mantener una buena apariencia del relleno sanitario.

Muchos tipos de suelos cuando están debidamente compactados muestran baja permeabilidad, no se contraen y pueden ser usados para controlar el agua que pudiera entrar al relleno e incrementar el volumen de lixiviado.

El control de la emanación de gases es también una función esencial de material de cubierta. Dependiendo de la profundidad planeada para el terreno recuperado por el relleno, los gases pueden ser bloqueados o ventilados a través del material de cubierta. Un suelo permeable que no retenga mucha agua puede servir como un buen material para ventilar los gases. Arena limpia, grava pequeña o roca quebrada son excelentes cuando se mantienen secas (Consortio Ambiental y de Servicios S.A. de C.V., 1999).



El material de cobertura depende del coeficiente de permeabilidad, el idóneo es una arcilla ya que es un impermeabilizante natural.

El cubrir los residuos también protege contra el fuego. Casi todos los suelos son incombustibles por lo que la cubierta y los taludes de cada una de las celdas del relleno ayudan a confinar el fuego, dentro de ésta.

La celda diaria de residuos sólidos deberá cubrirse con tierra compactada, tanto en la superficie como en los taludes, de tal manera que al final del día no queden residuos sólidos sin cubrir.

4.8. LIXIVIADO

Parte del agua de lluvia que cae en la superficie del terreno donde se construirá el relleno sanitario se evaporará, otra escurrirá a través de la superficie aprovechando las pendientes naturales del terreno hacia el nivel más bajo y el resto será absorbida por el suelo.

El porcentaje de agua que no penetra al suelo se denomina gasto de desagüe o escurrimiento, del cual se tomaran medidas para controlar este exceso de agua, a través de obras hidráulicas, diseñando para tal fin un sistema de control hidráulico por medio de drenajes interiores y exteriores de tal modo que las aguas de lluvia excedentes sean desalojadas del área del sitio de disposición final de manera ordenada.

Se debe diseñar un drenaje pluvial para el desvío de escurrimientos pluviales y el desalojo del agua de lluvia, minimizando de esta forma su infiltración a las celdas (Diario Oficial de la Federación, 2004, pág. 8).

El lixiviado es el líquido que ha resultado de la percolación del agua proveniente de fuentes externas, además del líquido contenido y producido en los mismos residuos (Tchobanoglous, 1998; Mor et al., 2006; Robles Martínez, 2008)

Lixiviado: líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y presentar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos (Diario Oficial de la Federación, 2004). Están considerados en la normatividad como residuos peligrosos (NOM-052-SEMARNAT-2003).

Debe construirse un sistema que garantice la captación y extracción del lixiviado generado en el sitio de disposición final. El lixiviado debe ser recirculado en las celdas de residuos confinados en función de los requerimientos de humedad para la descomposición de los residuos, o bien ser tratado, o una combinación de ambas (Diario Oficial de la Federación, 2004, pág. 8).

4.8.1. COMPOSICIÓN DEL LIXIVIADO

Öman & Junestedt (2008) señalan que un gran número de componentes peligrosos que no han sido identificados aún están presentes en los lixiviados. Identificar éste tipo de compuestos es difícil, debido a la compleja mezcla característica de los lixiviados, su generación y su biodisponibilidad (Isidori et al., 2003; Robles-Martínez, 2008). En su estudio, Öman & Junestedt (2008) reportan que entre los compuestos detectados se encuentran los



alifáticos halogenados, bencenos y benceno-alquilanos, fenoles y fenoles-alquilanos, etoxilatos, compuestos aromáticos policíclicos, bencenos clorados, fenoles y fenoles-clorados, PCB, dioxinas cloradas y furanos clorados, bromada retardadores de flama, pesticidas, compuestos orgánicos de estaño, metil-mercurio y metales pesados, entre otros, aseguran que la presencia de este gran número de compuestos peligrosos en los lixiviados de vertederos tienen un impacto significativo en las futuras evaluaciones de riesgo de vertederos y el desarrollo de métodos de tratamiento de lixiviados.

La composición de contaminantes en el lixiviado pueden ser muy diferentes según las siguientes condiciones (Borzacconi et al., 1996, Renou et al., 2008):

1. La composición de la basura depositada en el relleno.
2. Por los procesos de reacción química que tienen lugar en el mismo.
3. Por las condiciones de manejo del lixiviado.
4. Por las condiciones ambientales.
5. Edad del relleno.

La antigüedad del relleno es un factor importante en la composición química de los lixiviados debido a que tienden a estabilizarse con el transcurso de los años, observando una disminución en la concentración de sus componentes (ver tabla 9).

Tabla 9.
Datos típicos sobre la composición de los lixiviados procedentes de rellenos sanitarios nuevos y maduros.

Componente	Relleno joven (<2 años)		Relleno maduro (>10 años) mg/L
	Rango mg/L	Típico mg/L	
DBO ₅	2000-30000	10,000	100-200
DQO	3,000-60,000	18,000	100-500
Carbono Orgánico Total	1,500-20,000	6,000	80-160
SST	200-2,000	500	100-400
N orgánico	10-800	200	80-100
N amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo Total	5-100	30	5-11
Ortofosfato	4-80	20	04-ago
Alcalinidad (CaCO ₃)	1,000-10,000	3,000	200-1,000
pH	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Dureza	300-10,000	3,500	200-500
Calcio	200-3,000	1,000	100-400
Magnesio	50-1,500	250	50-200
Potasio	200-1,000	300	50-400
Sodio	200-2,500	500	100-200
Cloro	200-3,000	500	100-400
Sulfatos	50-1,000	300	20-50
Hierro Total	50-1,200	60	20-200

Fuente: Tchobanoglous, Theisen, & A. Vigil, 1998.

Nota: el pH no tiene unidades.

Las características de los lixiviados varían incluso dentro de un mismo relleno sanitario dado que pueden coexistir las diferentes etapas de biodegradación. El grado de degradación de



los lixiviados en el relleno sanitario puede conocerse mediante la relación de DBO_5/DQO denominada índice de biodegradabilidad y refleja el proceso de reacción bioquímica que está teniendo lugar el relleno. La fase acidogénica está caracterizada por valores del índice de biodegradabilidad > 0.4 , mientras que los valores del mismo índice para la fase metanogénica son < 0.1 , lo que indica que las sustancias orgánicas tienen problemas para continuar de degradación (tabla 10).

Tabla 10.
Valores típicos de parámetros de lixiviados, que varían de acuerdo a la etapa del proceso del relleno sanitario.

Componente	Fermentación ácida		Fermentación metanogénica	
	Valor medio mg/L	Rango mg/L	Valor medio mg/L	Rango mg/L
pH	6.1	4.5-7.5	8	7.5-9.0
DBO_5/DQO	0.58	-	0.06	-
DQO	22000	6,000-60,000	3,000	500-4,500
DBO_5	13000	4,000-40,000	180	20-550
Fe	925	20-2,100	15	3-280
Ca	1300	10-2,500	80	20-600
Mg	600	50-1,150	250	40-350
Mn	24	0.3-65	0.65	0-45
Zn	5.6	0.1-120	0.64	0.03-4
Sr	7.2	1.1-14.7	0.94	0.3-725
SO_4	-	70-1,750	-	10-420

Fuente: Tchobanoglous, Theisen, & A. Vigil, 1998.

Nota: el pH no tiene unidades.

4.8.2. CANTIDAD DE LIXIVIADO

El volumen de lixiviado o líquido percolado en un relleno sanitario depende de los siguientes factores:

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los RSM.
- Grado de compactación.
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para retener humedad).

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno.

Debido a las diferentes condiciones de operación y localización de cada relleno, las tasas esperadas pueden variar; de ahí que deban ser calculadas para cada caso en particular (Jaramillo, 2002).

Una serie de métodos se pueden aplicar para predecir la cantidad de lixiviados de vertedero, como el modelo de computadora para la Evaluación Hidrológica de Rendimiento del Vertedero (HELP, Hydrologic Evaluation of Landfill Performance), la investigación del flujo



de lixiviados de vertederos (FILL, the Flow Investigation of Landfill Leachate) y el Método de Balance de Agua (WBM, Water Balance Method) que fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de EUA (USEPA, por sus siglas en inglés).

Dado que resulta difícil obtener información local sobre los datos climatológicos, se suelen utilizar coeficientes que correlacionan los factores antes mencionados con el fin de precisar el volumen de lixiviado producido.

El método suizo, por ejemplo, permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado o líquido percolado mediante la ecuación:

$$Q = \frac{PAK}{t}$$

Donde: **Q** - Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (L/seg)
P - Precipitación media anual (mm/año)
A - Área superficial del relleno (m²)
K - Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura
t - Número de segundos en un año (31'536,000 seg/año)

K = 0.25 a 0.5 para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

K = 0.15 a 0.25 Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Sobre la base de las observaciones realizadas en varios rellenos pequeños, se puede afirmar que la generación de lixiviado se presenta fundamentalmente durante los periodos de lluvias y unos cuantos días después, y se interrumpe durante los periodos secos. Por tal razón, sería conveniente una adaptación de este método de cálculo para calcular la generación del lixiviado en función de la precipitación de los meses de lluvias y no de todo el año. Este criterio es importante a la hora de estimar la red de drenaje o almacenamiento de lixiviado para los rellenos sanitarios manuales.

Por lo tanto, se sugiere que partiendo de la ecuación anterior, los registros de precipitación sean los del mes de máxima lluvia, expresados en mm/mes, con lo cual se consigue una buena aproximación al caudal generado:

$$Q_{ml} = \frac{P_m A K}{t}$$

Donde: **Q_{ml}** - Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (L/seg)
P_m - Precipitación media mensual (mm/mes)
A - Área superficial del relleno (m²)
K - Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura
t - Número de segundos en un mes (2'678,400 seg/mes)

Para conocer el mes más lluvioso y la cantidad de precipitación se recurrió a la estación climatológica ubicada en la comunidad el cual tienen los siguientes datos (tabla 11):



Tabla 11.
Precipitación media mensual de Santa Fe de la Laguna.

		Mes	Precipitación media mensual (mm)
Id:	16118	ENERO	21.238
Estación:	SANTA FE-MICH	FEBRERO	9.079
Posición:	19.6730555556N -101.559166667W	MARZO	5.119
Variable:	Precipitación (mm)	ABRIL	5.448
Fecha Inicial:	06/01/1963	MAYO	35.579
Fecha Final:	10/01/2014	JUNIO	143.215
No Dato:	nan	JULIO	194.485
		AGOSTO	181.161
		SEPTIEMBRE	130.617
		OCTUBRE	59.845
		NOVIEMBRE	9.424
		DICIEMBRE	9.149
		1 año	804.359

Fuente: elaboración propia a partir de los registros de precipitación histórica de la estación climatológica ubicada en la comunidad descargados de la página clicom-mex.cicese.mx.

Los datos arrojaron que el mes de julio es mes más lluvioso del año, con una precipitación media mensual de 194.4851064 mm.

Con los siguientes datos: $P_m = 194.4851064$ mm, $A = 38660.727$ m², $K = 0.5$, $t = 2'678,400$ seg/mes se obtiene $Q_{mi} = 1.40$ Litros/segundo, lo que equivale a una generación diaria de 121.27 m³ de lixiviados. Para almacenar los lixiviados máximo una semana en el último año de la vida útil y en el mes más lluvioso se requiere un volumen de 848.91 m³ para lo cual se propone un tanque de almacenamiento de lixiviados de 71 m de largo, 6 m de ancho y 2 m de profundidad (contados a partir del fondo de la trinchera/zanja) (figura 47), dichas dimensiones cubren 852 m³ y se ubicará en la parte más baja del terreno para que los lixiviados bajen por gravedad.

Tabla 12.
Lixiviados generados a lo largo de la vida útil.

Año	Área de los RS (m ²)	Lixiviados	
		Anual (m ³)	Acumulada (m ³)
2019 (0)	1596.875	642.230	642.230
2020 (1)	3216.057	1293.432	1935.662
2021 (2)	4857.859	1953.730	3889.392
2022 (3)	6522.595	2623.253	6512.645
2023 (4)	8210.587	3302.128	9814.774
2024 (5)	9922.159	3990.487	13805.261
2025 (6)	11657.641	4688.462	18493.723
2026 (7)	13417.366	5396.187	23889.910
2027 (8)	15201.674	6113.799	30003.709
2028 (9)	17010.908	6841.435	36845.145
2029 (10)	18845.415	7579.236	44424.381
2030 (11)	20705.550	8327.344	52751.725
2031 (12)	22591.669	9085.902	61837.627



2032 (13)	24504.137	9855.057	71692.684
2033 (14)	26443.320	10634.957	82327.641
2034 (15)	28409.593	11425.751	93753.392
2035 (16)	30403.333	12227.592	105980.983
2036 (17)	32424.925	13040.634	119021.618
2037 (18)	34474.757	13865.034	132886.652
2038 (19)	36553.224	14700.951	147587.603
2039 (20)	38660.727	15548.545	163136.148

Fuente: elaboración propia.

La propuesta para su tratamiento es introducirlos a la red de alcantarillado y así puedan llegar al humedal, que se encuentra en la localidad, disueltos y no maten la vegetación de dicho humedal.

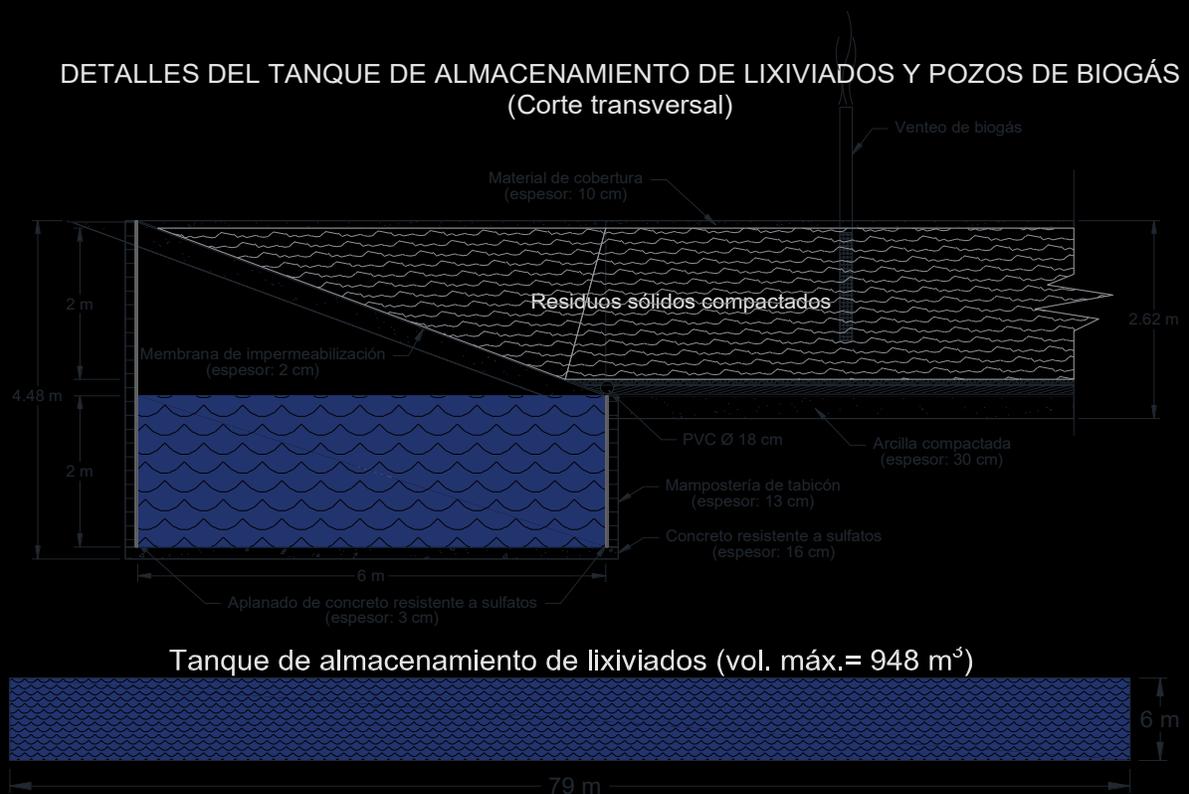


Figura 47. Tanque de almacenamiento de lixiviados.

Nota: la imagen superior corresponde a la vista en alzado y la imagen inferior corresponde a la vista en planta.

Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de lixiviado

Se debe elaborar un programa de monitoreo del lixiviado, que tenga como objetivo conocer sus características de Potencial de Hidrógeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y metales pesados (Diario Oficial de la Federación, 2004, pág. 10).

Se recomienda hacer pruebas de pH a los lixiviados cada tres meses para saber el riesgo que representa para los materiales del tanque de almacenamiento de lixiviados. El tanque de almacenamiento estará hecho de cemento resistente a sulfatos, para que pueda resistir



a valores de pH que representen un riesgo. Aparte de hacer pruebas para determinar el DBO₅ y DQO, para la parte de metales pesados se recomienda hacer las pruebas pertinentes para determinar el hierro, ya que es un metal pesado presente en las pinturas, las cuales son usadas en las artesanías que trabajan los habitantes desde sus hogares.

4.9. BIOGÁS

Una vez que los residuos quedan compactados bajo capas de tierra, se va creando un ambiente libre de oxígeno que permite el desarrollo de diversos tipos de organismos anaerobios, especialmente bacterias que biodegradan la materia orgánica contenida en la residuos sólidos. La descomposición progresiva de la materia orgánica implica la formación de compuestos intermedios (ácidos grasos volátiles y ácido sulfhídrico) que provocan los típicos malos olores de los residuos en descomposición (Consortio Ambiental y de Servicios S.A. de C.V., 1999).

Es por ello que en el relleno sanitario deben colocarse sistemas de venteo para controlar la salida de gases y debe cuidarse que las capas de residuos sólidos queden debidamente compactadas y perfectamente cubiertas con tierra para evitar la salida desordenada de los gases nocivos al medio ambiente por sitios que no sean los sistemas de evacuación. Una biodegradación completa de la residuos sólidos ocurre cuando ésta es depositada en capas compactadas y aisladas con tierra por encima y a los lados.

Los principales componentes del biogás generado en los residuos sólidos son el metano y el dióxido de carbono, además en bajas concentraciones se tiene nitrógeno y ácido sulfhídrico; sin embargo, existen otros componentes a nivel traza que son importantes por sus posibles efectos sobre la salud humana.

Se debe garantizar la extracción, captación, conducción y control del biogás generado en el sitio de disposición final. Una vez que los volúmenes y la edad de los residuos propicien la generación de biogás y de no disponerse de sistemas para su aprovechamiento conveniente, se procederá a su quema ya sea a través de pozos individuales o mediante el establecimiento de una red con quemadores centrales (Diario Oficial de la Federación, 2004, pág. 8).

Monitoreo de biogás

Se debe elaborar un programa de monitoreo de biogás que tenga como objetivo, conocer el grado de estabilización de los residuos para proteger la integridad del sitio de disposición final y detectar migraciones fuera del predio. Dicho programa debe especificar los parámetros de composición, explosividad y flujo del biogás (Diario Oficial de la Federación, 2004, pág. 10).

Para nuestro caso particular, el control de biogás generado sería un control pasivo, el cual consiste en dejar salir el biogás.

4.10. MAQUINARIA Y PERSONAL

Con la finalidad de que las operaciones que implica esta obra de ingeniería se realicen en forma adecuada y óptima es imprescindible la utilización de maquinaria y equipo apropiados para lo cual en éste apartado se hace una propuesta para cubrir las necesidades del sitio de disposición final a lo largo de su vida útil.



CARGADOR

Realiza carga, acarreo y acomodo de material producto de excavación.



Figura 48. Cargador de Ruedas Compacto 906K.
Fuente: CATERPILLAR, 2018.

CARACTERÍSTICAS:

- Categoría: CARGADOR DE RUEDAS
- Marca: CATERPILLAR
- Potencia Neta: 51 kW (68 hp)
- Peso en orden de trabajo: 5600 kg (12,346 lb)
- Capacidad de Cucharón: 0.75 - 1.2 m³ (1.0 - 1.6 yd³)

CAMIÓN VOLTEO (7 m³)

Efectua el acarreo de materiales necesarios para la construcción.



Figura 49. Camión Volteo De 7 m³ International 4300 Mod 2013.
Fuente: vivanuncios, 2019.

CARACTERÍSTICAS:

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| - Precio: \$700,000 | - Marca: INTERNATIONAL |
| - Motor: MAXXFORCE DT 466 | - Modelo: 4300 |
| - Kilómetros: 130,000 km | - Año: 2013 |
| - Capacidad de carga: 23500 kg | - Combustible: Diesel |



- Potencia : 210 W
- Dirección : Hidráulica
- Control de tracción : 6x2
- Transmisión : Manual

CAMIONETA PICK UP

La maquinaria y equipo utilizado en el relleno sanitario requiere de combustible, lubricantes y refacciones, por lo cual la camioneta dentro de los servicios que ofrecerá es el de acarrear todo lo necesario para que la maquinaria opere con efectividad. La unidad es una camioneta Pick-up Nissan Frontier de 166 Hp.



Figura 50. Nissan NP300 2019

Fuente: Nissan Mexicana S.A. de C.V., s.f.

CARACTERÍSTICAS:

- Versión: CHASIS CABINA T/M DH PAQ. SEG 6 VEL.'19
- Precio: \$277,100.00
- Motor gasolina QR25 de 2.5 L con potencia de 166 hp @ 6,000 rpm y torque de 178 lb-pie @ 4,000 rpm
- Transmisión manual de 6 velocidades y suspensión delantera de doble horquilla
- Bolsas de aire frontal para conductor y pasajero e inmovilizador
- Sistema de Frenado Antibloqueo (ABS), Distribución Electrónica de Frenado (EDB), Asistencia de Frenado (BA)
- Capacidad de carga incluyendo pasajeros: 1,525 Kg

CAMIÓN DE RECOLECTOR DE RESIDUOS SÓLIDOS

La gestión integral de residuos necesita un camión de recolección para transportarlos hasta su disposición final y para ello debe tener una capacidad de 4 toneladas para poder recolectar todos los residuos que se generan diariamente de una ruta en una sola vuelta. Un trabajador en el servicio de recolección comentó que método de esquina, actualmente empleado, comentó que es el más adecuado por lo que no se considera cambiarlo.



Figura 51. Sistema de roll off (gancho) modelo MC-4.
Fuente: (Equipos y Carrocerías America S.A. de C.V., s.f.)

CARACTERÍSTICAS

- Capacidad de carga de 4 toneladas
- Excelente estabilidad de carga al operarlo.
- Materiales de alta resistencia

ESTRUCTURAL

- Estructura en HSS de 6" x 3" con espesor de $\frac{1}{4}$ " en acero A-500 de alta resistencia.
- Bujes de bronce SAE 62
- Pernos de acero 1045 con maquinado de precisión.
- Gancho de acero de 1"
- Roles traseros en acero 1045 con buje de bronce interior SAE 62
- Sistema de graseras en todas las partes móviles

SISTEMA HIDRÁULICO

- Un cilindro central de levante de 6" de diámetro
- Válvula selectora para accionamiento de función
- Mangueras y conexiones de alta presión.
- Tanque de aceite de 60 lts con mirilla y termómetro.
- Bomba hidráulica de 8.5 GPM.
- Presión de operación máx. 3,000 psi.

RENDIMIENTO

- Tiempo de levante 60 segundos.

DISEÑO



- Diseño pensado para larga duración en las condiciones más exigentes de trabajo.
- Mangueras y conexiones de alta presión diseñadas para resistir con un factor de seguridad de 4:1.
- Diseñada con nuestro avanzado software Solid Edge.

ACCESORIOS

- Cámara de video en la parte trasera con monitor al interior de la cabina.
- Contenedores en diversas medidas para cada aplicación (ver catálogo de contenedores marca ECA)
- Sistema estabilizador

4.11. OBRAS COMPLEMENTARIAS.

CERCA PERIMETRAL.

Se considera importante delimitar la superficie destinada al sitio de disposición final y aislarla de su entorno con el fin de minimizar impactos al mismo, a la vez que restringe la entrada a personas no autorizadas y animales, y mantiene a la maquinaria protegida. Para delimitar el área se ha contemplado la instalación de un cercado perimetral compuesto por malla ciclónica galvanizada, calibre 10.5, de 2.5 m de altura en los 861.56 m que comprende el perímetro.

Como medida de amortiguamiento del transporte de olores producidos en el sitio por efecto del viento deberá colocarse una cortina arbórea en todos los linderos del terreno.

CASETA DE VIGILANCIA.

Con la finalidad de establecer un control en cuanto a vehículos y personal que ingrese al relleno sanitario, a la entrada al mismo se construirá una caseta destinada a vigilancia y control. Dicha construcción tendrá una superficie de 20.25 m².

OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Las oficinas administrativas en el Relleno Sanitario Metropolitano Poniente fueron diseñadas con el fin de proporcionar al personal de administración, supervisión, las condiciones óptimas para el desempeño de sus funciones. La superficie de construcción que tendrán las oficinas será de 20.25 m² e incluye una oficina administrativa, sanitarios con regadera, comedor, bodega.

ESTACIONAMIENTO.

El estacionamiento vehicular se ubicará afuera de las instalaciones, en frente del cobertizo, con una superficie de 160 m². Que dará servicio para 5 cajones para automóviles, para los vehículos que emplean los funcionarios y el personal técnico y operativo, así como de proveedores y particulares

COBERTIZO DE MAQUINARIA.

La maquinaria empleada en la operación de rellenos sanitarios es cara y por lo mismo, debe protegerse lo mayor posible, con el fin de asegurarle mayor durabilidad y un buen estado. Por lo anterior, se construirá un taller y cobertizo para resguardo y mantenimiento de la maquinaria con una superficie de 250.02 m².



El sitio de disposición final deberá contar con un área de emergencia para la recepción de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, cuando alguna eventualidad, desastre natural o emergencia de cualquier orden no permitan la operación en el frente de trabajo; dicha área debe proporcionar la misma seguridad ambiental y sanitaria que las celdas de operación ordinarias (Diario Oficial de la Federación, 2004, pág. 8).

4.12. CLAUSURA DEL SITIO.

Cobertura final de clausura. La cobertura debe aislar los residuos, minimizar la infiltración de líquidos en las celdas, controlar el flujo del biogás generado, minimizar la erosión y brindar un drenaje adecuado.

Las áreas que alcancen su altura final y tengan una extensión de dos hectáreas deben ser cubiertas conforme al avance de los trabajos y el diseño específico del sitio.

Conformación final del sitio. La conformación final que se debe dar al sitio de disposición final debe contemplar las restricciones relacionadas con el uso del sitio, estabilidad de taludes, límites del predio, características de la cobertura final de clausura, drenajes superficiales y la infraestructura para control del lixiviado y biogás.

Mantenimiento. Se debe elaborar y operar un programa de mantenimiento de pos-clausura para todas las instalaciones del sitio de disposición final, por un periodo de al menos 20 años. Este periodo puede ser reducido cuando se demuestre que ya no existe riesgo para la salud y el ambiente. El programa debe incluir el mantenimiento de la cobertura final de clausura, para reparar grietas y hundimientos provocados por la degradación de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como los daños ocasionados por erosión (escurrimientos pluviales y viento).

Programa de monitoreo. Se debe elaborar y operar un programa de monitoreo para detectar condiciones inaceptables de riesgo al ambiente por la emisión de biogás y generación de lixiviado, el cual debe mantenerse vigente por el mismo periodo que en el punto 9.3 de la presente Norma.

Uso final del sitio de disposición final: debe ser acorde con el uso de suelo aprobado por la autoridad competente con las restricciones inherentes a la baja capacidad de carga, posibilidad de hundimientos diferenciales y presencia de biogás.

Procedimiento para la evaluación de la conformidad

Objetivo: el procedimiento para la evaluación de la conformidad, en adelante PEC, establece, dentro del esquema de normalización, comprendido en el marco de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, la metodología para facilitar y orientar a las Unidades de Verificación (UV) y a las entidades públicas y privadas que operen sitios de disposición final el cumplimiento de los requisitos técnicos establecidos en esta Norma Oficial Mexicana.

Después de la clausura del sitio se propone utilizarlo como áreas verdes de uso recreativo, donde se plantarán árboles.



CAPÍTULO V. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

5.1. OBJETIVO

El objetivo del manual de operación del presente manual es servir de guía para el personal responsable en la operación del relleno sanitario, a fin de que coordine y ejecute de manera correcta las tareas correspondientes (Consortio Ambiental y de Servicios S.A. de C.V., 1999).

5.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERSONAL

La operación, control y mantenimiento del sitio de disposición final de Santa Fe de la Laguna exige la necesidad de una plantilla de personal estructurado de tal manera que exista una coordinación de funciones y actividades deseadas para que el relleno opere eficientemente.

La cantidad de personal que labore en el sitio variará de acuerdo con la magnitud de los trabajos realizados en un momento determinado de la obra. Es decir, durante la etapa de construcción del relleno sanitario (conformación de la primera plataforma e infraestructura general) laborará una plantilla de trabajo diferente a la que operará el relleno una vez iniciado las actividades.

A continuación se describen el número y puesto de personas requeridas para la operación del sitio de disposición final de Santa Fe de la Laguna.

Tabla 13.
Personal requerido para la operación del sitio.

PUESTO	CANTIDAD
Residente General	1
Chofer de camioneta	1
Operador de Maquinaria	1
Chofer de volteo	1
Vigilante	1
Velador	1
TOTAL	6

Fuente: elaboración propia.

Puesto: RESIDENTE GENERAL.

Actividad. Es quien verifica en forma coordinada las diversas operaciones para el funcionamiento, conservación, mantenimiento y conclusión del relleno sanitario; asume las funciones técnico-administrativas de recibir órdenes, ordenar, ejecutar, controlar, concentrar información y elaborar informes.

Función. Técnico especializado directamente responsable del relleno sanitario; debe establecer la planeación, programación, observar su avance, comportamiento, tomando las medidas necesarias para la conservación, mantenimiento y operación del mismo.

Programar, organizar y controlar las actividades que desarrollan las diferentes áreas del relleno sanitario, conforme a los objetivos, políticas y programas establecidos por la dirección.



Planear la forma en que deberán realizarse las operaciones en el frente de trabajo y en las actividades de cobertura en el relleno sanitario.

Coordinar y controlar las operaciones de acomodo, descarga, extendido, compactación y cobertura de los residuos sólidos en las celdas programadas.

Coordinar y controlar la información oportuna y confiable de las operaciones efectuadas en la operación del relleno sanitario.

Coordinar y controlar la información oportuna y confiable de las operaciones efectuadas en la operación del relleno sanitario.

Coordinar y controlar los estudios necesarios para la determinación de los avances en la operación del relleno sanitario.

Coordinar y controlar el cumplimiento de las normas y políticas establecidas en la administración del personal del relleno.

Realizar anualmente la programación de la operación del relleno sanitario.

Proporcionar información oportuna y confiable a supervisores en relación a la operación del relleno sanitario, así como realizar los estudios (volúmenes de residuos sólidos y de material de cobertura y otros reportes específicos relacionados con el avance de la obra) solicitados por los mismos.

Enviar los informes programados y establecidos por su superior.

Puesto: OPERADOR DE MAQUINARIA PESADA

Actividad. Realizar las actividades de excavación, empuje, acomodo y compactación de los residuos sólidos y materiales de cobertura en el relleno sanitario, además de operar los controles procede a mover tierra, desmontar, excavar canales, nivelar terrenos y otras obras semejantes en la construcción de caminos, construcción de bordos, demoliciones, trabajos similares. Puede realizar pequeñas reparaciones a la máquina o reportarla para mantenimiento y reparación.

Función. Este trabajador es parte fundamental en la operación del relleno sanitario de acuerdo al método de operación seleccionado ya que inicialmente realizará la preparación de la base conforme a los niveles de desplante del proyecto realizado, extendiendo o compactando el área por utilizar y con el equipo mecánico correspondiente. Revisar el adecuado funcionamiento de la maquinaria pesada. Realizar la operación de la maquinaria pesada para efectuar las tareas del relleno sanitario.

Realizar, en su caso, el empuje de los residuos sólidos en las celdas del relleno sanitario con la maquinaria pesada adecuada.

Operar la maquinaria pesada para realizar las tareas de compactación de los residuos sólidos.

Realizar, en su caso, las tareas de cobertura de residuos sólidos con el material de cobertura y la maquinaria pesada adecuada.

Puesto: CHOFER DE CAMION DE VOLTEO



Actividad. Es el trabajador que opera un camión de volteo para el transporte de materiales geológicos, térreos y/o de construcción. Verifica el funcionamiento del vehículo y lo conduce hasta el sitio de carga de material de cubierta para después, una vez cargado, llevarlo hasta el frente de trabajo, donde lo descargará, previa indicación del controlador del frente de trabajo. Este trabajador deberá tener el tipo de licencia correspondiente que lo acrediten como calificado para conducir este tipo de vehículo. Puede realizar algunas reparaciones al vehículo, reportarlo o conducirlo al taller mecánico para su reparación.

Función. Está encargado de abastecer al frente de trabajo del material de cubierta que se requiera en el transcurso de una jornada.

También podrá transportar materiales geológicos y/o de construcción para realizar reparaciones en caminos o alguna obra de infraestructura del relleno sanitario.

Revisar el funcionamiento del vehículo y reportar, en su caso, los desperfectos.

Abastecer al vehículo con los materiales de cobertura.

Realizar las operaciones de descarga en el lugar indicado por el acomodador.

Mantener aseado y engrasado el vehículo.

Efectuar reparaciones menores o elementales al vehículo en caso de desperfecto en tránsito.

Puesto: CHOFER DE CAMIONETA

Actividad. Es el trabajador que opera una camioneta para el transporte de carga. Verifica el funcionamiento del vehículo y lo conduce hasta el lugar donde recoge la carga, opera la camioneta hasta su destino, donde entrega correcta la carga, y presenta la documentación que la ampara. Este trabajador deberá tener el tipo de licencia correspondiente que lo acrediten como calificado para conducir esta clase de vehículo. Puede realizar pequeñas reparaciones al vehículo, reportarlo y/o conducirlo al taller mecánico para su reparación.

Función. Está encargado de abastecer de combustibles, refacciones, aceites y agua para la operación y mantenimiento del equipo mecánico.

También podrá transportar al personal que trabaje en el relleno desde algún lugar específico hasta la zona de trabajo; desarrollará actividades complementarias de mensajero.

Puesto: VIGILANTE

Actividad. Es el trabajador que realiza las labores de vigilancia durante el día; controla las entradas y salidas de materiales, productos, mercancías u otros artículos que se manejan en el establecimiento, dentro de las horas de trabajo normal; cierra y abre la puerta de acceso al sitio, lleva registros y listas de los movimientos ejecutados diariamente, al terminar su jornada rinde un informe de las irregularidades observadas. Salvaguardar las actividades del personal, los materiales, maquinaria pesada, oficinas, vehículos e instalaciones del relleno sanitario.

Función. Deberá permanecer en la caseta asignada a esta función, su actividad es abrir y cerrar las puertas de acceso a los camiones recolectores tanto del municipio como de



particulares o concesionarios que lo soliciten permitiendo el paso a aquellos que contengan únicamente residuos sólidos municipales.

Para personas extrañas a la operación del relleno sanitario únicamente se permitirá su paso mediante la autorización correspondiente del residente del relleno sanitario.

No deberá permitir la descarga de residuos sólidos de una manera indiscriminado dentro del establecimiento ni en sus alrededores, por los choferes de los camiones.

Presentar el informe de irregularidades observadas.

Puesto: VELADOR

Actividad. Es el trabajador que realiza las labores de vigilancia durante la noche. Recorre las diferentes áreas del establecimiento anotando su paso en el reloj checador cuando lo hay, vigila al personal que entra y sale del establecimiento después de las horas de trabajo normal, cierra puertas y contesta llamadas telefónicas. Al terminar su jornada rinde un informe de las irregularidades observadas. En el desempeño de su trabajo puede usar armas de fuego.

Función. Este trabajador dentro de la operación del relleno sanitario será reportar los vehículos particulares que descarguen sus residuos sólidos en las áreas próximas al relleno sanitario. Estar pendiente de cualquier eventualidad, como incendio de los residuos o algún pozo de biogás, inundaciones o daños a caminos por lluvia, etc. A fin de reportarlo inmediatamente o tomar las medidas preliminares que resulten convenientes.

5.3. REGLAMENTO INTERNO DEL RELLENO SANITARIO

Con el objeto de normar actividades, aplicar medidas estrictas de seguridad e higiene y evitar problemas en el funcionamiento del relleno sanitario, es necesario aplicar un manual de operación que deberán observar tanto operadores como choferes, y en general cualquier persona que ingrese a las instalaciones del relleno sanitario.

Los lineamientos que contemplará el manual de operación son los siguientes:

DISPOSICIONES GENERALES

- La operación del relleno sanitario debe estar bajo la responsabilidad de personal capacitado.
- La operación del relleno sanitario no se suspenderá por ningún motivo.
- Deberá existir vigilancia durante las 24 horas del día.
- Es necesario contar con una bitácora y un archivo permanente, sobre el funcionamiento del relleno.

RESPONSABILIDAD DEL PERSONAL OPERATIVO

El responsable directo del funcionamiento del relleno sanitario será el Residente General, quien se encargará de:

- Instruir al coordinador y a los operadores para la formación de la celda correspondiente.
- Aplicar correctamente los recursos:

Mobiliario.



Maquinaria y equipo.
Mano de obra.

- Hacer cumplir al personal de operación y a las demás personas que intervengan en el relleno sanitario, el reglamento del mismo.
- Controlar el acceso al público y evitar tanto la descarga de residuos sólidos peligrosos, así como el tráfico vehicular no autorizado.
- Vigilar que el responsable del mantenimiento de la maquinaria cumpla con su función.
- Hacer campañas permanentes para evitar la proliferación de fauna nociva (ratas, insectos, etc.)
- Realizar un monitoreo y control ambiental eficiente.

RELATIVO AL ACCESO

Tendrán acceso al relleno sanitario:

- El personal que labore en él, previa identificación.
- Todo vehículo que ingrese al relleno deberá obedecer el señalamiento vial.
- Los vehículos de caja abierta deberán transitar con lona o malla para evitar que los residuos se dispersen.

Se prohibirá la entrada a:

- Pепенadores.
- Menores de edad.
- Vendedores ambulantes.
- Toda persona ajena al funcionamiento del relleno sanitario.
- Comisiones u organismos que no cuenten con autorización oficial.

Se permitirá el acceso de:

- Vehículos distintos a los del servicio de recolección, siempre y cuando pasen por una revisión de los residuos que porten y paguen una cuota por descarga.
- Visitas de inspección.
- Visitas de vigilancia.
- Visitas pedagógicas.

Todas estas visitas serán autorizadas debidamente mediante oficio expedido por las autoridades correspondientes. La administración del relleno sanitario deberá llevar un control diario, de entradas y salidas del personal autorizado, así como de vehículos, llevando un registro de las toneladas de residuos introducidas por cada vehículo.

RELATIVO A LOS RESIDUOS SOLIDOS

- Se aceptarán en el relleno sanitario sólidos provenientes de:
- Casas-habitación
- Mercados y supermercados.
- Oficinas.
- Comercios, hoteles y restaurantes.
- Escuelas y centros educativos.



- Parques y jardines.
- Vías públicas.

No se aceptarán:

- Residuos peligrosos que presenten las siguientes características:
 - Corrosivos.
 - Reactivos.
 - Explosivos.
 - Tóxicos.
 - Inflamables.
 - Biológico-Infeciosos

Cuando se sospeche de la introducción al relleno sanitario de residuos sólidos peligrosos (por su apariencia, consistencia y emisiones), el personal operativo avisará al Coordinador o al Residente General, quien, a su vez deberá comunicarse a las autoridades ambientales respectivas.

RELATIVO AL PERSONAL

- El personal que opera el relleno sanitario tendrá obligatoriamente que:
- Llegar a su trabajo puntualmente.
- Portar una identificación expedida por las autoridades correspondientes.
- Usar el equipo de seguridad apropiado.
- Seguir un programa de vacunación preventiva y vigilancia médica que determinaran las mismas autoridades.
- Realizar la comida de alimentos en los horarios establecidos

RELATIVO AL FRENTE DE TRABAJO

- En el frente de trabajo solamente deberán permanecer:
- El coordinador.
- Los operadores de la maquinaria.
- Los auxiliares de los operadores de la maquinaria.
- Los acomodadores.

En el horario de operación del relleno sanitario se procurará que:

- La descarga de residuos sólidos se haga en una zona contigua al frente de trabajo, para que los vehículos no interfieran con las actividades desarrolladas en el mismo.

PROHIBICIONES

Queda estrictamente prohibido:

- La descarga ilegal de residuos sólidos en otras áreas que no sean las dispuestas por el Residente General.
- La introducción, preparación y consumo de alimentos y bebidas dentro de las instalaciones del relleno sanitario y en la zona de acceso, además de su venta.
- Fumar o manejar elementos flamables dentro del relleno sanitario.
- Construir viviendas dentro de las instalaciones del relleno sanitario.



- Que el personal reciba dádivas de cualquier tipo.
- Ingerir bebidas alcohólicas, drogas, fármacos y/o estimulantes en general.
- Encender fuego dentro del relleno sanitario.
- Introducir y alimentar animales dentro del relleno sanitario.
- Circular a velocidades mayores de las estipuladas en los señalamientos viales.
- Estacionarse en zonas prohibidas dentro del relleno.
- Recibir residuos sólidos peligrosos.
- Realizar pepena.

Control sanitario y ambiental

Lo llevara a cabo las autoridades ambientales respectivas de acuerdo a su jurisdicción y tendrá entre otros atribuciones.

- La aplicación correcta de las normas sanitarias y ecológicas vigentes.
- La aplicación correcta de normas y controles ambientales (manejo de lixiviados, gases, control de erosión, reforestación, etc.)
- Para el control sanitario y ambiental, las autoridades locales se podrán auxiliar contratando los servicios especializados de una empresa.

5.4. NORMAS DE SEGURIDAD, HIGIENE Y PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

Seguridad en el sitio

Los controles de acceso al sitio deberán ser obligatorios para prevenir el ingreso al sitio de materiales o personal no autorizado y permitir que las operaciones sean realizadas de manera coordinada y controlada.

Los métodos y procedimientos de seguridad que se implementan tendrán como objetivo:

- a) Proporcionar seguridad contra el ingreso del material y personal no autorizado.
- b) Proporcionar control y tráfico vehicular al flujo de transporte.

Los beneficios de éstos procedimientos son:

- Evitar la entrada a personas que por desconocimiento de las características del lugar pudieran introducirse en el mismo.
- Proteger las instalaciones, equipo y personal de acciones negativas de personas ajenas al sitio.
- Asegurar que las operaciones del sitio no sean perturbadas o interrumpidas.

Normas de seguridad establecidas

- 1) El acceso al sitio será controlado por cercas, señales restrictivas, y una puerta que restrinja el paso de vehículos al sitio, que se reforzará con las medidas de seguridad del personal.
- 2) Una cerca perimetral y la franja de amortiguamiento se mantendrán para evitar la entrada del personal no autorizado.
- 3) En la entrada del relleno se colocará una señal fácilmente visible que informe a los conductores sobre el acceso restringido al sitio y que para entrar, los vehículos han de hacer alto total en el área de entrada antes de procedimientos posteriores.



- 4) La entrada al sitio, será restringida por personal que determine el residente general.
- 5) Los vehículos que ingresen al sitio así como las personas debidamente identificadas, estarán aprobadas por el residente o en su caso por el coordinador y serán anotados en el libro de control.
- 6) El residente se reservará el derecho de evitar el acceso a zonas específicas del relleno, a personal o vehículos.
- 7) Se permitirá las visitas al interior del sitio, siempre y cuando sean autorizadas oficialmente, y en todo momento serán acompañados por personal operativo que determine el residente.
- 8) El horario de labores del sitio se mostrará en un letrero a la entrada del relleno.

Horario de operación del relleno

El sitio operará recomendablemente en los siguientes días y horarios:

Lunes a domingo de 8:00 a 17:00 horas.

El sitio puede recibir residuos sólidos en otros horarios siguiendo las especificaciones que fije el residente.

Control de ingreso de residuos

La entrada de los residuos es controlada de 3 formas de manera que no se reciban en el sitio residuos que violen las disposiciones del reglamento interno.

- 1) El primer control de ingreso se hará en la zona de entrada. Para permitir el ingreso de los residuos al relleno el operador del vehículo de transporte deberá hacer alto total en la entrada y facilitar la inspección visual de su carga, así como proporcionar informes sobre tipo y placas del vehículo, lugar de procedencia y volumen aproximado que transporta. Estos datos se registrarán en la forma correspondiente, y debe estar familiarizado con los diferentes tipo de residuos peligrosos para detectarlos de acuerdo a sus características CRETIB así como el tipo de camiones o de cajas en las que transportan. En el caso de que residuos prohibidos lleguen al sitio, el vehículo será aislado y asegurado y el residente notificado. El vehículo no será permitido su acceso al relleno y será avisado a las autoridades respectivamente para que procedan conforme a las disposiciones aplicables.
- 2) El segundo control se realizará en la báscula de pesaje al registrar las características del residuos mediante un talón que describa a nivel de detalle el tipo de residuo así como su origen.
- 3) El tercer control, lo realizará el acomodador verificando la apariencia y características de los residuos al momento de la descarga, esparcido y compactación del residuo, y deberá permanecer alerta a la presencia de residuos peligrosos para separarlos de la zona de tiro, debe estar familiarizado con los diferentes tipos de residuos peligrosos para detectados de acuerdo a su consistencia, color, olor, símbolos de radioactividad o peligrosidad así como el tipo de camiones o de cajas en que los transportan, similar al personal que están en la entrada y básculas. Si algún tipo de residuo se observa de características peligrosas, se aislará el material, si es posible, y evitará su disposición en el frente de trabajo, informando al residente o coordinador, con la urgencia que el caso amerite. Los residuos peligrosos serán movidos para transportarlos a un lugar de



adecuado fuera del relleno. En coordinación con las autoridades ambientales respectivas.

Seguridad en el trabajo

Los accidentes que afectan a los recursos materiales y humanos, tienen una causa, no suceden solamente por fenómenos a la voluntad del hombre; por tanto deberán considerarse previsibles. Por lo que todos los empleados del relleno deberán unir sus esfuerzos y participar en un efectivo y continuo programa de prevención y control de accidentes.

Para mejorar la capacidad de prevención, se dotará al personal de equipo y facilidades necesario para realizar sus labores con seguridad; sin embargo, ningún programa es eficiente sin que se incluya la motivación personal. Se pretende que todo el personal este profundamente interesado en la prevención de accidentes, y aplique acciones correctivas en caso de que éstos sucedan. Cada empleado es en gran medida directamente responsable del control de su propia seguridad y la del trabajo que desarrolla. Para promover la seguridad individual y la de aquellos con que tenemos relaciones laborales, se establecen reglas que deban cumplir desde el residente hasta un ayudante.

Empleo de equipo de protección y seguridad

El personal que labora en el relleno, será dotado una vez al año del equipo de protección siguiente:

- Un par de botas de casquillo
- Un par de botas de hule
- Un overol
- Mascarillas apropiadas para cada labor

Adicionalmente se dotará, de acuerdo a las necesidades de:

- Guantes de carnaza
- Guantes de hule
- Impermeable
- Chalecos de seguridad

Al recibir el equipo, el empleado deberá firmar un recibo aceptando las condiciones en que se le entrega y las cantidades del mismo. Cada empleado es responsable de mantener y cuidar su equipo. Si algún equipo es perdido, dañado o destruido, será repuesto.

Definición del uso de equipos

- 1) Las botas de casquillo serán usadas todo el tiempo en que se realicen trabajos que representan riesgos de daño al pie o dedos del pie. Los trabajadores que harán uso obligado de este equipo son:
 - Operadores de equipo pesado y vehículos.
 - Almacenista Residentes de obra
 - Oficina de avance del relleno.
 - Edificación y obras complementarias.
 - Control ambiental.
 - Control de ingreso al relleno Mecánicos.



- Ayudantes generales
- 2) Las botas de hule e impermeables se usarán por todos los trabajadores que requieran realizar labores en zona con humedad, principalmente en lluvias, incluye a:
 - Residentes de obra
 - Edificación y obras de complementación.
 - Control ambiental.
 - Ayudantes generales.
- 3) Protección de manos. Se usarán guantes apropiados para el tipo de trabajo que se requieran, principalmente guantes de carnaza para los grupos de operación y construcción.
- 4) Protección respiratoria. Será usada por empleados cuya labor se realiza en áreas con humo, polvo o gases tales como:
 - Operadores de maquinaria
 - Acomodador.
- 5) Uniforme. El overol será indispensable para todo el personal de campo.
- 6) Chalecos de seguridad. Será obligatoria su uso para personal que realice trabajos en áreas con tráfico de maquinaria y vehículos tales como:
 - Eventualmente para trabajos efectuados en la colindancia con trabajos como: construcción, desazolve de cunetas, reforestación y deshierbe.

Equipo de seguridad en el sitio

Se deberá disponer del siguiente equipo de seguridad: equipo de primeros auxilios. Se localizará en el área de oficinas todo el tiempo e incluye:

- Alcohol
- Algodón
- Gasa
- Mertheolate y tintura de yodo
- Vendas de 2", 4" y 10" (2 piezas c/u)
- Tijeras
- Cinta adhesiva
- Aspirinas
- Pomada desinfectante
- Agua oxigenada
- Antiistamínicos, antidiarreicos, gotas para ojos, antiinflamatorios

Agua potable

Se dispondrá en oficinas y casetas de agua potable en garrafones para consumo humano.

Conos naranja de señalamiento vial

Se usarán conos naranja de señalamiento vial y cintas de señalamiento de acceso restringido de plástico, para señalizar zonas de trabajo de acceso restringido o en sitios de tráfico vehicular o bien en zonas susceptibles a recibir daños por la circulación de vehículos y maquinaria.

Extinguidor de incendios



Todo el personal de supervisión será entrenado en el uso de extintores de incendios, que estarán disponibles en:

- Todos los vehículos.
- Área de oficinas.
- Caseta de control.

Procedimientos de supervisión de obra

La calidad y oportunidad con que se desarrollen los trabajos de construcción y operación del relleno sanitario, dependerá en gran medida del trabajo de supervisores que pudiera ser una empresa contratada. Un estricto programa de inspección durante la construcción y operación será efectuado, al igual que el mantenimiento adecuado en el período post-clausura.

La inspección tendrá como objeto identificar y corregir fallas de funcionamiento, deterioro, así como garantizar que los materiales usados en los diversos sistemas que conforman en relleno sanitario, cumplan con la calidad necesaria. Para evitar la obtención de un producto determinado indeseable de construcción, bajo ciertas circunstancias, es necesario especificar pasos o alternativas intermedias dentro de determinada actividad. Dichas alternativas le corresponden al personal de supervisión.

El ingeniero residente que se haga seleccionado para quedar a cargo de la supervisión, debe estar familiarizado con la obra en particular, con el sistema a desarrollar, de preferencia debe ser el hombre que haya preparado los trabajos preliminares en las oficinas. Debe ser un hombre con experiencia como ingeniero civil, es necesario que tenga personalidad para tratar con el residente, los jefes de brigada y el personal en general; debe ser capaz de tomar decisiones cuando se presenten problemas imprevistos.

El procedimiento a seguir por parte de la supervisión ser el siguiente:

La supervisión general de la obra dependerá directamente del Consejo Metropolitano o en su caso de quien este determine y es éste a quien tendrá que reportar directamente de cualquier anomalía que se presente en el desarrollo de la construcción del relleno sanitario, así como del avance real de la obra en general.

5.5. PLANES DE CLAUSURA

Para la clausura del relleno sanitario es importante considerar el uso o usos finales que se le vayan a dar. Los usos más comunes son: parques, reservas naturales, viveros, canchas de golf y otros deportes, siendo los usos recreativos los de mayor popularidad.

Al término de su vida útil y una vez clausurado el Relleno Sanitario Metropolitano Poniente, se definirá su uso a futuro, tomando en cuenta consideraciones importantes referente a la disponibilidad de recursos del organismo operador del sitio, así como, los requerimientos de restauración ambiental y de la existencia de un proyecto específico para el aprovechamiento del sitio. Por las condiciones de ubicación y biofísicas del sitio, es recomendable se le dé un uso final de reintegración al paisaje natural, tomando como base para lo anterior, el resultado del análisis del impacto ambiental del sitio, lo que propiciara la integración del sitio con el paisaje natural de la zona, restituyendo parte de las características naturales del sitio, a través de programas de restauración ambiental en el



sitio y su entorno, como son la reforestación intensiva con ejemplares nativos de la zona, además de introducir algunas especies con fines estéticos.

La clausura podría realizarse de la siguiente manera:

Planificación previa

- Realizar un plano topográfico final del sitio.
- Realizar un plano de drenaje del sitio.
- Preparar un plan sobre cubierta vegetal a utilizar y un plano del paisaje.
- Identificar las distintas secuencias de la clausura para realizar las opciones pertinentes a cada una de ellas.

Un año antes del cierre

- Determinar la nueva superficie de disposición final a emplearse, una vez que termine la vida útil del relleno sanitario.
- Realizar un estudio financiero considerando otros métodos de clausura a fin de definir si convendría considerar otra opción.

Tres meses antes de la clausura

- Revisar el plan de clausura, en su defecto debe reajustarse.
- Establecer el cronograma final para los procesos de clausura.
- Notificar a la autoridad ambiental correspondiente.
- Notificar a los usuarios por carta o por anuncios públicos.

Al cierre

- Levantar vallas o estructuras necesarias apropiadas a fin de delimitar el acceso
- Colocar postes indicadores de cierre y de otros lugares alternativos para disposición de residuos sólidos.
- Recoger cualquier tipo de desperdicio dentro del relleno o en las proximidades de él y colocarlo en la celda final para su posterior cobertura
- Cubrir totalmente la celda final. No deben quedar residuos por cubrir.

Tres meses después del cierre

- Completar las estructuras necesarias para el drenaje pluvial.
- Revisar y en su defecto corregir la recolección de gas o sistema de venteo, la instalación del confinamiento o tratamiento para lixiviados.
- Realizar el monitoreo de gas.
- Instalar placas de asentamiento, bancos de nivel y otros dispositivos para determinar en el futuro el asentamiento diferencial del relleno sanitario.
- Colocar una capa de cobertura final (0.30 m) debidamente compactado.
- Colocar una cubierta vegetal por lo menos de 0.50 m.

Un aspecto muy importante a considerar antes de la clausura de un relleno, es notificar a los usuarios la fecha a partir de la cual ya no estará disponible. Esto debe hacerse mediante un oficio dirigido a las autoridades y mediante anuncios públicos cuando es usado por residentes privados.



Es importante determinar las restricciones que una vez clausurado el relleno, tendrá, sobre todo el ser destinado a usos que impliquen construcción pesada en su superficie, como habitación, comercio o industria, limitándose a conservar su calidad de área verde y aprovechando el terreno con fines forestales y de uso natural. (Consortio Ambiental y de Servicios S.A. de C.V., 1999)



CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La comunidad de Santa Fe de la Laguna no cuenta con un sitio de disposición final de residuos sólidos, dicha comunidad está en crecimiento y es la segunda con mayor número de habitantes dentro del municipio de Quiroga Michoacán, por esta razón se llevó a cabo esta propuesta.
- La generación de residuos sólidos en la comunidad, de acuerdo a la cantidad, es en primer lugar los municipales (casas habitación), seguida de los de manejo especial y por último los peligrosos.
- Las actividades e ingresos económicos de Santa Fe propician poca generación de residuos sólidos, a pesar de esto sí representa un serio problema al no contar con un sitio de disposición final adecuado.
- La tasa de generación de la localidad es del 0.72 K/h/d (4.0 toneladas diarias) de residuos sólidos, pero sólo ingresarán al sitio de disposición final propuesto 3.0 toneladas al día (0.54 K/h/d) debido a que el 25% de los componentes son reciclables.
- El método de recolección que la localidad ha utilizado desde que se implementó el servicio en el 2000 ha sido el método de esquina y se considera el más idóneo por lo que no se considera necesario cambiarlo.
- El método de operación del sitio de disposición final será trinchera ya que las características del terreno lo permiten.
- No se requiere un estación de transferencia ya que la distancia de la traza urbana al sitio de disposición final es de un radio de 500 metros.

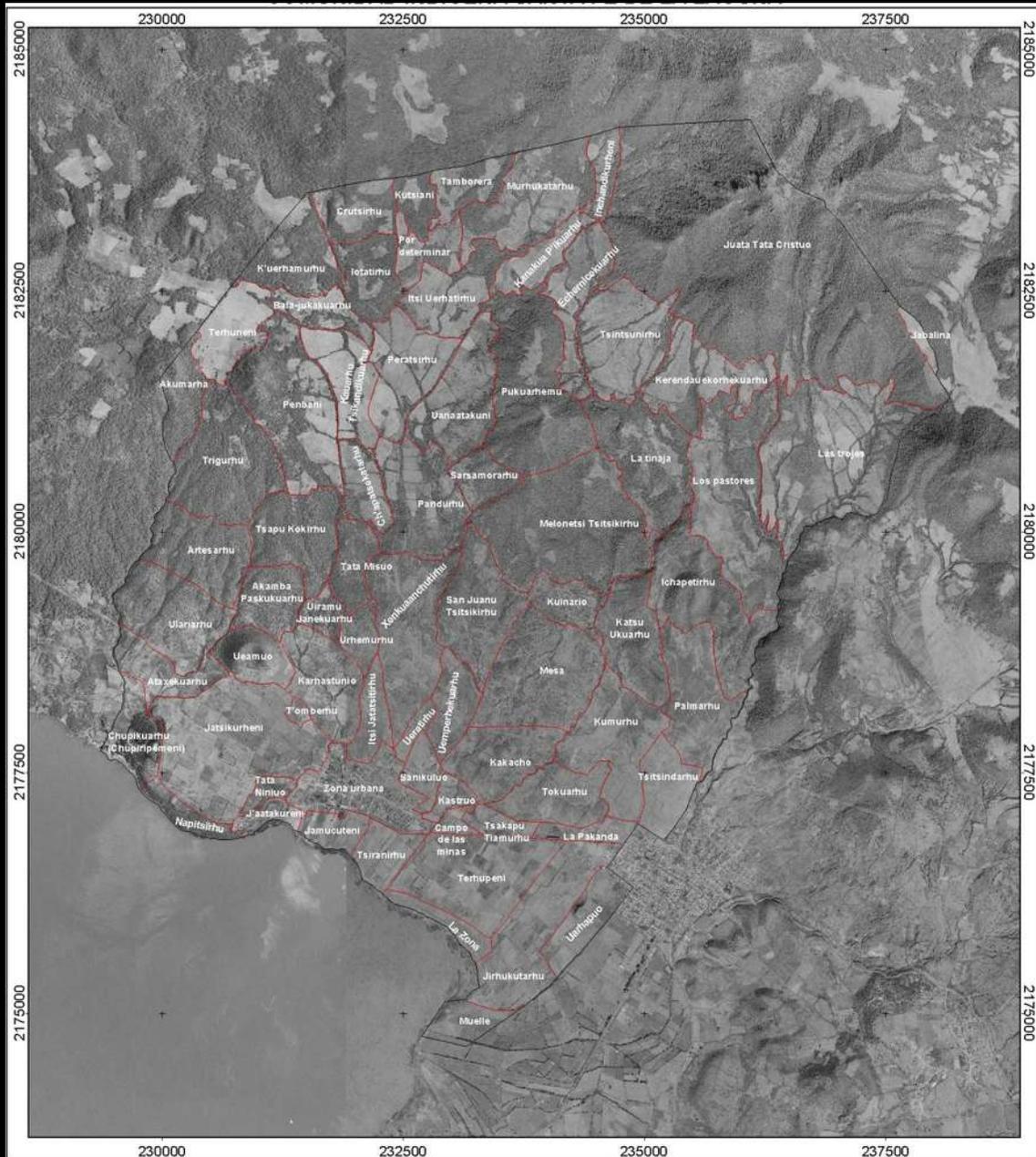
6.2. RECOMENDACIONES

- Recircular los lixiviados en un 10 a 20% para acelerar el proceso de degradación y llegar a la compactación propuesta de 500 kg/m³.
- Planear una campaña de concientización dirigida a la población de Santa Fe sobre el cuidado del medio ambiente para que conozcan los beneficios del contar con un Relleno Sanitario y así mismo participen en su cuidado.
- Dale mantenimiento a la vía de acceso existente que es una terracería para que los vehículos puedan circular bien en todas las épocas del año.
- Deshabilitar y limpiar el tiradero ubicado cerca de Chupícuaro y en general todas las zonas de Santa Fe de la Laguna con residuos sólidos, transportándolos al sitio de disposición diseñado mediante este trabajo final y que se implemente mejoras en la vigilancia, para que dejen de ser susceptibles de ser receptores de basura.
- Que las autoridades correspondientes gestionen los contenedores de basura que tanto hacen falta a la comunidad en los lugares turísticos/públicos.
- Realizar estudios en los últimos años del sitio que puedan dictaminar la seguridad de seguir operándolo con el método combinado, ya que de no representar riesgos alargaría su vida útil de manera significativa.
- En un contexto más general, que las localidades con mayor número de habitantes y por ende generan más residuos sólidos, también fomenten la creación de un relleno sanitario en sus localidades.



CAPÍTULO VII. ANEXOS

ANEXO A. Ordenamiento Territorial de Santa Fe de la Laguna.



DIVISIÓN POLÍTICA DE SANTA FE DE LA LAGUNA

LÍMITE DE PARAJE

Responsables:
 Jaime Navia Antezana
 Armando Santacruz Rodríguez
 María Rosa Rendón García
 María Consuelo Marín Togo
 Román Omar Bautista Manuel
 Equipo comunitario

Representante de bienes comunales:
 Crecencio Méndez Gaspar

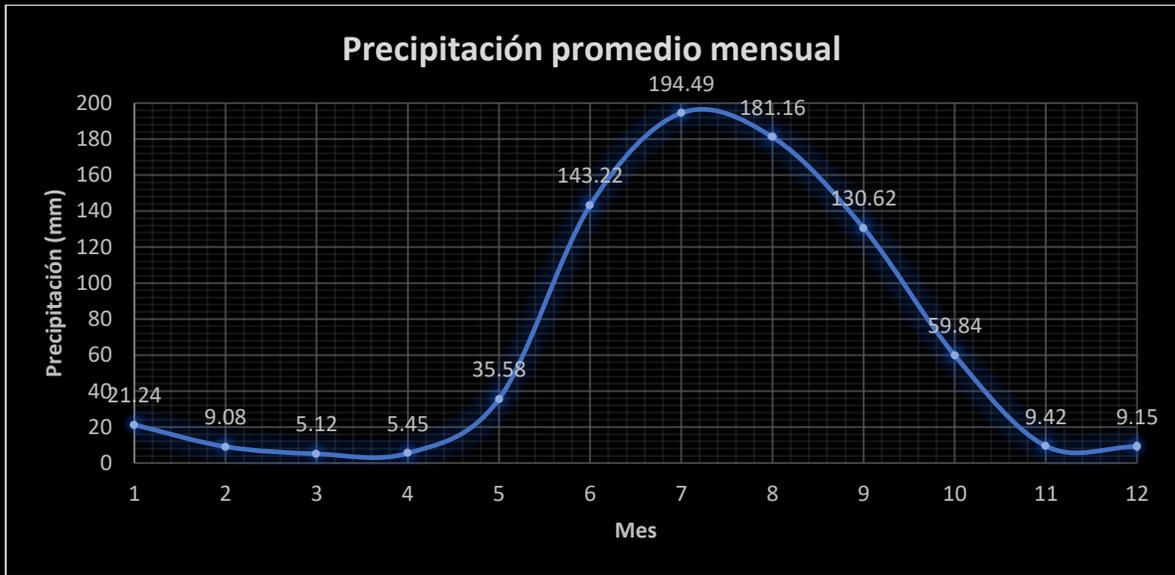
Fuente: Ortofotos INEGI: 1 : 75 000, 1995
 Equipo comunitario
 GIRA, A.C.
 Proyección UTM 14N Datum: WGS 84
 Enero de 2006

N

Kilómetros



ANEXO B. Gráfica de precipitación promedio mensual en Santa Fe de la Laguna.



ANEXO C. Residuos Sólidos en el tiradero clandestino de Chupícuaro.





ANEXO D. Materiales desechables a orillas de la zanja del tiradero clandestino de Chupícuaro.



ANEXO E. Estado de algunas orillas del lago en Santa Fe de la Laguna.

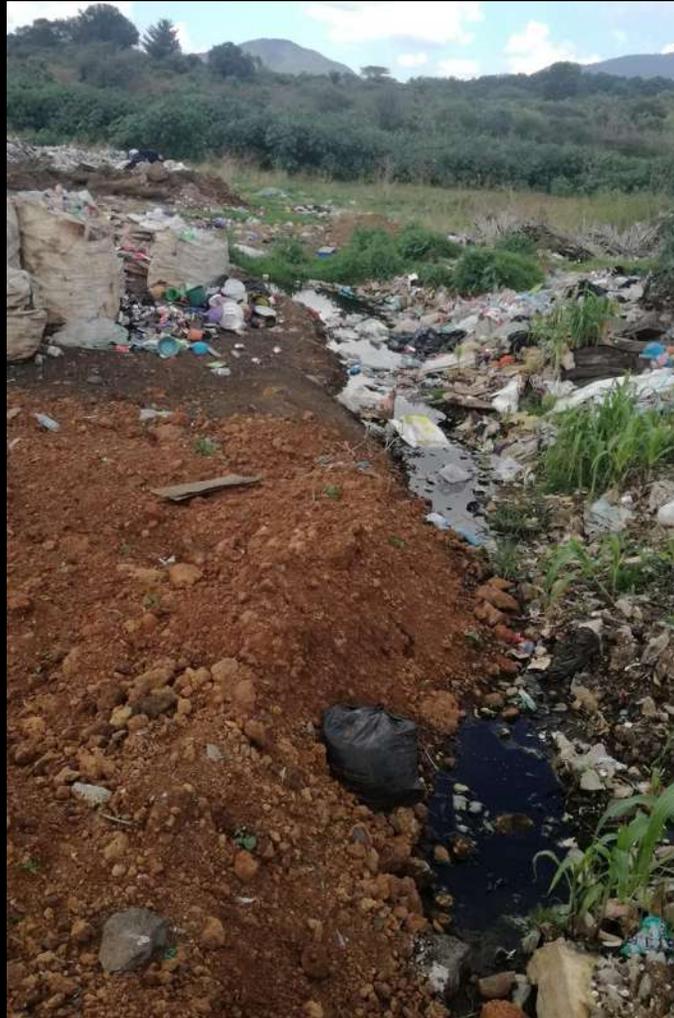




ANEXO F. Garzas y vacas alimentándose en el tiradero de Quiroga.



ANEXO G. Encharcamiento en el tiradero de Quiroga.





ANEXO H. Estado de limpieza del parque de Cupícuaro en Santa Fe de la Laguna.





FUENTES CONSULTADAS

- Alcalá, J. (1540). *Relación de Michoacán*. Michoacán.
- Ambiental Blog. (7 de diciembre de 2010). *Los Rellenos Sanitarios*. Recuperado el 27 de Enero de 2019, de <https://ambientalblog2010.wordpress.com/2010/12/07/los-rellenos-sanitarios/>
- Caterpillar. (2018). *Cargadores de Ruedas*. Recuperado el 23 de Enero de 2019, de 906K: https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/wheel-loaders/compact-wheel-loaders/1000002825.html
- Comisión Nacional Forestal, grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada. (Enero de 2006). Ordenamiento territorial comunidad indígena de Santa Fe de la Laguna. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Consortio Ambiental y de Servicios S.A. de C.V. (1 de Septiembre de 1999). *proyecto ejecutivo del relleno sanitario metropolitano poniente*. Obtenido de Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario Metropolitano Poniente "Picachos": [sigajalisco.gob.mx/Assets/pdf/proyecto%20ejecutivo.pdf](http://www.sigajalisco.gob.mx/Assets/pdf/proyecto%20ejecutivo.pdf)
- Cruz Lucas, C. E. (Septiembre de 2013). *Informe de Gestión Comunitaria realizada en Santa Fe de la Laguna, municipio de Quiroga Michoacán*. Tesis que para obtener el título de: Licenciado en Desarrollo Comunitario, Universidad Pedagógica Nacional Unidad UPN 162, Zamora. Obtenido de <http://200.23.113.51/pdf/32166.pdf>
- Diario Oficial de la Federación. (20 de Octubre de 2004). *Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final*. Norma Oficial Mexicana. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5402726
- Dimas Huacuz, N. (1995). *Temas y Textos del Canto P'urhépecha*. Colegio de Michoacán A.C. e Instituto Michoacano de Cultura.
- Equipos y Carrocerías America S.A. de C.V. (s.f.). *Equipos para Residuos Sólidos*. Recuperado el 22 de Enero de 2019, de Gancho Modelo MC-4: [http://equiposeca.com/equipos-para-residuos-solidos/sistemas-de-gancho/gancho-modelo-mc-4.html#!prettyPhoto\[gallery771a23ea9e\]/1/](http://equiposeca.com/equipos-para-residuos-solidos/sistemas-de-gancho/gancho-modelo-mc-4.html#!prettyPhoto[gallery771a23ea9e]/1/)
- Fundación Azul Ambientalistas. (s.f.). *Relleno Sanitario*. Recuperado el 21 de Enero de 2019, de <http://www.azulambientalistas.org/rellenosanitario.html>
- García, P. (20 de Marzo de 2018). *Notivisión Quiroga*. Obtenido de Quiroga tirará basura en Pátzcuaro: <https://notivisionquiroga.com/quiroga-tirara-basura-en-patzcuaro/>
- Gómez, G., Meneses, M., Ballinas, L., & Castells, F. (2009). *Seasonal characterization of municipal solid waste (MSW) in the city of Chihuahua*.
- Huacuz, E. (2002). *Programa de conservación y Manejo de Ambystoma Duerilli, el achoque del Lago de Pátzcuaro*. México: UMSNH/FMCN/SEMARNAT.



INEGI. (2006). *Cuaderno Estadístico Municipal de Quiroga, Michoacán de Ocampo*. Obtenido de INEGI: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem06/info/mic/m073/mapas.pdf>

INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Quiroga, Michoacán de Ocampo*. Obtenido de INEGI: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/16/16073.pdf

INEGI. (s.f.). 3. *Unidades y subunidades de suelo*. Obtenido de INEGI: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>

Jaramillo, J. (2002). *Guía para el Diseño, Construcción Y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales*. Guía, Universidad de Antioquia, Colombia. Obtenido de <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>

Le Clézio, J. (1985). *La conquista divina de Michoacán*.

MAQ Bombas y Grúas. (s.f.). *Maquinaria Pesada Usada*. Recuperado el 22 de Enero de 2019, de Retroexcavadora Caterpillar 416C 2000: <https://maquinariapesadacs.com.mx/portfolio-posts/retroexcavadora-caterpillar-416c-2000/>

Nissan Mexicana S.A. de C.V. (s.f.). *NISSAN*. Recuperado el 23 de Enero de 2019, de Nissan NP300 2019: https://www.nissan.com.mx/np300/?gclid=EAlaIQobChMI-JC49qWF4AIVBbXACH3-wgbNEAAYASAAEgIMC_D_BwE&gclidsrc=aw.ds

Olascoaga Guerrero, L. (2014). *Programa de cálculo para estimar la cantidad de lixiviados generados en Rellenos Sanitarios*. Tesis que para obtener el grado de: Maestra en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, México, D.F. Obtenido de https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13636/LIZZETH_OLASCOAGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (Marzo de 1991). 5. *El papel de la biomasa forestal como energético en la industria alfarera de Santa Fe de la Laguna, Michoacán*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/docrep/006/AD096S/AD096S06.htm#ch>

Periodico Oficial. (3 de Junio de 2011). *Programa de Desarrollo Urbano de centro de población de la comunidad de Santa Fe de la Laguna*. Obtenido de Periodico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacan De Ocampo: <http://leyes.michoacan.gob.mx/destino/O4936po.pdf>

(2005). *Proyecto Ejecutivo Relleno Sanitario El Tuito*. Proyecto ejecutivo. Obtenido de <https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/cabocorriente.pdf>

Robles Martínez, F. (2008). *Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios*. D.F., México: Instituto Politécnico Nacional.



Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente. (30 de Enero de 2008). *Programa estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en Michoacán de Ocampo*. Documento para Consulta Pública.

Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). *Museo Virtual*. Recuperado el 27 de Enero de 2019, de Rocas ígneas: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Rocas-igneas.html>

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & A. Vigil, S. (1998). *Gestión Integral de Residuos Sólidos* (Vol. I). Ciudad de México: Mc Graw Hill.

Vázquez del Mercado, R. (2004). *Descubre una cuenca: el lago de Pátzcuaro*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua/Fundación Gonzalo Río Arronte.

Venegas Torres, K. A. (2010). *Programa De Manejo Forestal Para El Aprovechamiento De Recursos Forestales Maderables En Bosques De Clima Templado Frío. Extracción De Arbolado Afectado Por Plagas*. Santa Fe de la Laguna.

vivanuncios. (14 de Enero de 2019). *Camiones usados en venta en Tlaquepaque*. Recuperado el 22 de Enero de 2019, de Volteó internacional 2013: <https://www.vivanuncios.com.mx/a-venta-camiones/tlaquepaque/volteo-internacional-2013/1001947094250910856778209>

Weather Spark. (31 de Diciembre de 2016). *Weather Spark*. Obtenido de El clima promedio en Santa Fé de la Laguna México: <https://es.weatherspark.com/y/4436/Clima-promedio-en-Santa-Fé-de-la-Laguna-México-durante-todo-el-año>

Wehenphol, G., Heredia Cantillana, P., Hernández Barrios, C., & de Buen Richkarday, B. (2004). *Guía de cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003*. Guía, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, México. Obtenido de http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_Cumplimiento_NOM_083.pdf

Wikipedia. (29 de Junio de 2018). *Bandera purépecha*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Bandera_purépecha