



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**USO DE IMÁGENES DE SATÉLITE PARA LA DETECCIÓN DE CALOR
SUPERFICIAL, ESTUDIO EN EL RELLENO SANITARIO DE
TLALNEPANTLA DE BAZ, ESTADO DE MÉXICO.**

TESIS

Que para obtener el título de:

Licenciado en Geografía

Presenta:

Leobardo Mendoza Ruíz.

A S E S O R A

Dra. Griselda Berenice Hernández Cruz

México, CDMX 2017.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la Dra. Griselda Berenice Hernández Cruz, asesora de esta tesis quién me brindó su apoyo, su conocimiento y dedicación para la realización de este trabajo.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM y a la DGAPA-UNAM por la beca recibida. Este trabajo forma parte del proyecto IA108017 "Uso de aeronaves no tripuladas y percepción remota para el monitoreo de biogás en Rellenos sanitarios".

A mi familia; a quienes admiro y amo, son el referente principal en mi formación personal y académica, soy el resultado de sus creencias y valores.

A mis profesores.

A mis Amigos.

Finalmente agradezco a la UNAM por ser parte fundamental en mi desarrollo humano y de lo que ha brindado a lo largo de mi formación profesional.

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	3
Lista de Figuras.....	7
Lista de Ilustraciones.....	7
Lista de Tablas.....	8
Lista de Abreviaciones.....	9
Resumen.....	10
Hipótesis.....	10
Objetivos.....	10
General.....	10
Particulares.....	11
Capítulo I. Características del Biogás.....	12
1.1 Definición y origen del biogás.....	12
1.2 Características físicas del biogás.....	13
1.3 Propiedades térmicas del metano.....	15
Capítulo II. Características de las imágenes de satélite.....	17
2.1 Definición de las imágenes satelitales.....	17
2.1.1 Historia de la Percepción Remota.....	17
2.1.2 Definición.....	19
2.1.3 Radiación Electromagnética.....	22
2.1.4 Rangos del espectro electromagnético utilizados en imágenes satelitales.....	24
2.1.5 Radiación Térmica: cuerpo negro.....	26
2.1.6 Radiación Electromagnética y la Atmósfera.....	27
2.1.7 Sensores pasivos de captación de imágenes.....	28
2.1.8 Sensores Activos.....	28
2.2 Clasificación de los sensores satelitales.....	29
2.2.1 Satélites en Función de su órbita.....	29
2.2.2 Satélites Geoestacionarios.....	29
2.2.3. Satélites de comunicaciones.....	30
2.2.4 Satélites Meteorológicos.....	30
2.2.5 Satélites Polares–cercanos.....	30
2.3 Tipos de resoluciones.....	31

2.3.1 Resolución Temporal.....	31
2.3.2 Resolución Espectral	31
2.3.3 Resolución Espacial.....	32
Capítulo III. Estudios previos en la identificación de biogás utilizando técnicas remotas	33
3.1 Estudios a escala regional.....	33
3.2 Inventario de los rellenos sanitarios oficiales en México.....	35
3.3 Rellenos Sanitarios.....	40
Capítulo IV. Estudio de Caso de Relleno Sanitario de Tlalnepantla de Baz.	52
4.1 Características de relleno sanitario de Tlalnepantla de Baz	52
4.1.1 Características Generales.....	54
4.1.2 La aplicación el Modelo Mexicano de Biogás	58
4.2 Procesamiento digital de imágenes de satélite para la obtención de LST en el relleno sanitario.....	60
4.2.1. Corrección radiométrica.....	60
4.2.2. Conversión a valores de temperatura de brillo.....	62
4.2.3. Aplicación del algoritmo de Jiménez para la obtención del LST63	
Capítulo V. Resultados y Conclusiones	66
5.1 Resultados de la aplicación del algoritmo (SW) en imágenes satelitales para la obtención de LST en otros rellenos sanitarios (12) de la República mexicana	66
5.1.1 Relleno Sanitario de Acuña SW.....	66
5.1.2 Relleno Sanitario de Ahome SW.....	67
5.1.3 Relleno Sanitario de Cadereyta Jiménez SW.....	68
5.1.4 Relleno Sanitario de Cozumel SW.....	69
5.1.5 Relleno Sanitario de Cuernavaca SW.....	70
5.1.6 Relleno Sanitario de Durango SW.....	71
5.1.7 Relleno Sanitario de García SW.....	72
5.1.8 Relleno Sanitario de Guasave SW.....	73
5.1.9 Relleno Sanitario de Hermosillo SW.....	74
5.1.10 Relleno Sanitario de Piedras Negras SW.....	75
5.1.11 Relleno Sanitario de Reynosa SW.....	76
5.1.12 Relleno Sanitario de Saltillo SW.....	77
5.2 Datos de los resultados de la aplicación del algoritmo (SW) en los rellenos sanitarios de la República mexicana	78

5.2.1 Medición de temperatura superficial in situ.....	79
5.3 Relleno Sanitario de Tlalnepantla de Baz SW.....	82
5.4 El Error Cuadrático Medio.....	83
5.5 Consideraciones Finales.....	86
5.4 Conclusiones.....	87
Bibliografía.....	88

Lista de Figuras

- 1.1 Molécula de metano (Andres, 2016)
- 2.1 Ilustración de los pasos de la Percepción Remota con base en la ilustración de Chuvieco (2002) modificada por Ramos Lugo, Zoneidy, 2016.
- 2.2 Diagrama de Longitud, Frecuencia y Velocidad.
- 2.3 Espectro electromagnético (Pérez, 2007).
- 2.4 Realización del cuerpo negro (Burbano, 2006)
- 2.5 Efecto de la energía con la incidencia sobre la atmósfera
- 2.6 Diferenciación gráfica entre sensores pasivos y sensores activos. (Pérez, 2007)
- 3.1 Diagrama de un relleno Sanitario (Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum, Understanding the Waste Cycle, 1991) Modificado por SEDESOL 2006.
- 3.2 Rellenos sanitarios por entidad federativa, SEMARNAT 2012.

Lista de Ilustraciones

- 3.1 Diagrama de un relleno Sanitario (Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum, Understanding the Waste Cycle, 1991) Modificado por SEDESOL 2006.
- 3.2 Rellenos sanitarios por entidad federativa, SEMARNAT 2012.
- 3.3 Relleno Sanitario de Acuña
- 3.4 Relleno Sanitario de Ahome.
- 3.5 Relleno Sanitario de Cadereyta Jiménez.
- 3.6 Relleno Sanitario de Cozumel.
- 3.7 Relleno Sanitario de Loma de Mejía.
- 3.8 Relleno Sanitario de Durango.
- 3.9 Relleno Sanitario de García.
- 3.10 Relleno Sanitario de Guasave.
- 3.11 Relleno Sanitario de Hermosillo.

- 3.12 Relleno Sanitario de Piedras Negras.
- 3.13 Relleno Sanitario de Reynosa.
- 3.14 Relleno Sanitario de Saltillo.
- 4.1 Mapa del Estado de México con División municipal.
- 4.2 Mapa de Tlalnepantla de Baz con División de Colonias.
- 4.3 Relleno Sanitario Tlalnepantla de Baz.
- 5.1 SW Relleno Sanitario de Acuña
- 5.2 SW Relleno Sanitario de Ahome.
- 5.3 SW Relleno Sanitario de Cadereyta Jiménez.
- 5.4 SW Relleno Sanitario de Cozumel.
- 5.5 SW Relleno Sanitario de Loma de Mejía.
- 5.6 SW Relleno Sanitario de Durango.
- 5.7 SW Relleno Sanitario de García.
- 5.8 SW Relleno Sanitario de Guasave.
- 5.9 SW Relleno Sanitario de Hermosillo.
- 5.10 SW Relleno Sanitario de Piedras Negras.
- 5.11 SW Relleno Sanitario de Reynosa.
- 5.12 SW Relleno Sanitario de Saltillo.
- 5.13 Medición de temperatura superficial in situ.
- 5.14 SW Relleno Sanitario de Tlalnepantla de Baz.

Lista de Tablas

- 1.1 Composición química del biogás (REMBIO, 2006).
- 1.2 Propiedades caloríficas del metano.
- 2.1 Distribución de las bandas en OLI y TIRS (USGS, 2017).
- 3.1 Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginada, Sedesol. México. 2013 (Actualizada).
- 3.2 Rellenos Sanitarios con interés en el aprovechamiento del gas metano, ICMA, 2001.

- 4.1 Estudios y análisis previos requeridos para la construcción de sitios de disposición final.
- 4.2 Estudios y análisis previos requeridos para la construcción de sitios de disposición final.
- 4.3 Tabla informativa del ayuntamiento Constitucional de Tlalnepantla de Baz.
- 4.4 Emisividades del suelo y la vegetación para Landsat 8 TIRS banda 10 y 11
- 4.5 Coeficientes para el algoritmo SW dado Por datos simulados, Jiménez-Muñoz, 2014.
- 5.1 Datos de los resultados de la aplicación del algoritmo (SW) en los rellenos sanitarios de la República mexicana.
- 5.2 Registro de toma de temperatura por puntos
- 5.3 Relleno Sanitario de Tlalnepantla de Baz SW.
- 5.4 Comprobación de RMSE

Lista de Abreviaciones

- LST Land Surface Temperature
- ND Niveles Digitales
- OLI Operational Land Imagen
- PR Percepción Remota
- RS Relleno Sanitario
- SW Algoritmo Split-Window
- TIRS Thermal Infrared Sensor.

Resumen

La presente investigación forma parte del proyecto "USO DE AERONAVES NO TRIPULADAS Y PERCEPCIÓN REMOTA PARA EL MONITOREO DE BIOGÁS EN RELLENOS SANITARIOS" (IA 108017) la cual está especializada en la detección de calor superficial utilizando imágenes satelitales LANDSAT 8.

El trabajo de investigación se llevó a cabo mediante imágenes de satélite para determinar los alcances en la detección de calor superficial en el relleno sanitario del ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz, ubicado en el Estado de México y del cual se realizó una comparación con datos in situ, estimando la factibilidad de aplicación a otros rellenos sanitarios de México.

Hipótesis

Utilizando las imágenes satelitales del satélite LANDSAT 8 se puede detectar y monitorear el calor superficial en la atmósfera de los diferentes rellenos sanitarios en México, dándonos indicios de la liberación de gas metano, su posible detección y monitoreo de manera remota.

Objetivos

General

Determinar que a través del uso de métodos de PR es posible identificar zonas de calor superficial en la atmósfera como resultado de los desechos orgánicos de los rellenos sanitarios.

Particulares

- Comprobar la factibilidad de la metodología en todos los rellenos sanitarios de México.
- Identificar el grado de incertidumbre en la metodología.
- Identificar la importancia de los resultados en términos de mitigación del calentamiento global, así como alentar futuros estudios en esta línea.
- Difundir por medio de los resultados obtenidos la importancia del estudio del comportamiento de los gases de efecto invernadero.

Capítulo I. Características del Biogás

1.1 Definición y origen del biogás

El biogás se genera a partir de residuos orgánicos sometidos a procesos de digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica ocurre sólo sin presencia de oxígeno (Hernández, 2015).

La generación del biogás forma parte de un ciclo natural de descomposición, el material del cual se genera el biogás es conocido como biomasa o materia orgánica. La biomasa es la materia orgánica contenida en productos de origen vegetal y animal que puede ser capturada y usada como una fuente de energía química almacenada (IILSEN, 2004). La fermentación anaeróbica es un proceso natural, químico y biológico, que ocurre en forma espontánea en la naturaleza. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" (N. Sogari, 2012). El biogás puede obtenerse a partir de tres tipos de biomasa la cual es la vegetal, animal o residual, siendo esta última con la que se trabajó a lo largo de la investigación.

El biogás fue descrito hacia el año 1600, identificado como un gas producido por la acción de descomposición de la materia orgánica. Para 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad (Figuroa K. R., 2009)

La biomasa es la materia orgánica contenida en productos de origen vegetal y animal que puede ser capturada y usada como una fuente de energía química almacenada (IILSEN, 2004).

1.2 Características físicas del biogás

El Biogás está compuesto en un 60-65 % de metano, y en un 35-40 % de dióxido de carbono y en menores proporciones sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otras impurezas: es un gas explosivo y tóxico. El metano que es el principal componente del biogás es incoloro, inodoro e insípido. El metano también es un combustible con una concentración del 5 al 15 % en el aire en donde es potencialmente peligroso por ser altamente explosivo (Global Methane Initiative, 2017).

La estructura química del biogás se ejemplifica en la tabla 1.1

Tabla 1.1 Composición química del biogás (REMBIO, 2006)

Componente	Concentración
Metano (CH ₄)	50% - 75% de volumen
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25% - 45% de volumen
Vapor de Agua (H ₂ O)	2% - 7% de volumen
Ácido Sulfhídrico (H ₂ S)	0.1% de volumen
Nitrógeno (N ₂)	<2% de volumen
Oxígeno (O ₂)	<2% de volumen
Hidrógeno (H ₂)	<1% de volumen

Dentro de la composición del biogás y a diferencia de otros gases combustibles, éste puede obtenerse a partir de casi cualquier fuente natural siempre y cuando cumpla con la característica de ser resultado de la descomposición de la materia orgánica, algunos ejemplos de los procesos de descomposición orgánica son los gases de los pantanos en donde el gas sube a la superficie con la formación de las burbujas que salen al exterior y específicamente dentro de la descomposición orgánica de los rellenos sanitarios, los cuales funcionan como una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo [que de acuerdo a la teoría, no causa molestia

ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo] (Armas y Yaselga, 2005).

Además de los componentes principales, el biogás también contiene sulfuro de hidrógeno y otros compuestos de sulfuro, siloxanos y aromáticos y halogenados compuestos. Éstos pueden tener impactos ambientales como el ozono en la estratosfera, el agotamiento, el efecto invernadero y/o la reducción de la calidad del aire local. Muchos compuestos orgánicos volátiles tóxicos se forman en los residuos domésticos, incluyendo compuestos de limpieza, pesticidas, productos farmacéuticos, plásticos, Textiles y revestimientos (Reinhart, 1993)

El valor energético del biogás, estará determinado por la concentración de metano (Uli Werner, 1989).

Dentro de los 6 gases de efecto invernadero el metano es el primer miembro de la serie de los alcanos. Es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. En la atmósfera, el metano retiene el calor y es 23 veces más efectivo para la absorción de energía que el CO₂. Su ciclo de vida es, sin embargo, más breve, entre 10 y 15 años (European Commission, 2017).

Considerando que el metano es cálido cuando se produce, contiene vapor de agua que se condensa cuando se expone a temperaturas más frías (Mital, 1997). Dentro del proceso biológico de biodigestión se produce energía calorífica gracias a los microorganismos para mantener su temperatura de alrededor de los 35° C (esta Cifra sería la ideal, aunque puede darse en diferentes condiciones).

Dentro de la combustión del metano se da como resultado dióxido de carbono y agua, lo cual es algo muy característico de los compuestos orgánicos. La combustión del metano es muy exotérmica, siendo este hecho de gran importancia ya que lo convierte en una importante

fuentes de energía. Dentro de este tipo de reacciones cabe señalar que el producto importante no es el dióxido de carbono y agua, sino el calor. (Figuerola V. H., 2010)

1.3 Propiedades térmicas del metano

El calor es un factor primordial en el proceso de descomposición tanto para los compuestos inorgánicos como para los orgánicos que dan paso a la generación del gas. La descomposición también puede producirse por la acción química, la catálisis, las bacterias, las enzimas y la luz. (Figuerola V. H., 2010)

Se considera un rango de temperatura desde 15° C hasta los 60° C. Sin embargo, en la generación del biogás se distinguen dos rangos de temperatura el mesofílico de 30° a 40° C y el termofílico de 55° a 60° C. (Ambos, hábitats de los microorganismos).

Dentro de las características físicas del metano, se tiene que considerar que la unidad de un compuesto no iónico, sea sólido, líquido o gaseoso, es la molécula. (Como la molécula de metano es muy simétrica, las polaridades de los enlaces carbono-hidrógeno individuales se anulan, de lo que resulta que la molécula en sí no es polar, por tanto es apenas soluble) (Comerón, 2017).

(Figura 1.1)

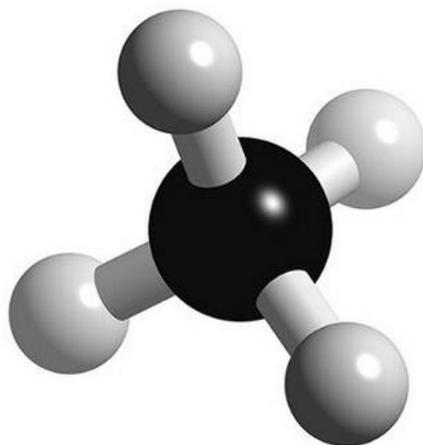


Figura 1.1 MOLECULA DE METANO del artículo de Wilmer Andrés, 2016.

La atracción entre tales moléculas no polares queda limitada a las fuerzas de Van der Waals¹; (para moléculas tan pequeñas, estas fuerzas atractivas deben ser muy débiles, comparadas con las de mayor intensidad entre iones sodio y cloruro.

En consecuencia, el metano es un gas a temperatura de 15°C y 1 atmósfera². Éste es apenas soluble en agua que es de 1 ml/100 ml a 20°C: 3.3, pero muy soluble en líquidos orgánicos, como gasolina, éter y alcohol. La densidad relativa de vapor (aire=1) es de: 0.6. La temperatura de auto ignición: 537°C. (Comerón, 2017)

Tabla 1.2 Propiedades caloríficas (Comerón, 2017)

Calorías por gramo:	12 Kcal.
Calorías por gramo de CO ₂ :	4,5 Kcal.

¹ Son fuerzas de estabilización molecular; forman un enlace químico no covalente en el que participan dos tipos de fuerzas o interacciones, las fuerzas de dispersión (que son fuerzas de atracción) y las fuerzas de repulsión entre las capas electrónicas de 2 átomos contiguos. (Ecured, 2018)

² La unidad de presión denominada atmósfera (atm) equivale a la presión que ejerce la atmósfera terrestre al nivel del mar. Se ha utilizado para medir presiones elevadas como, por ejemplo, la de los gases comprimidos. (Organisation Intergouvernementale de la Convention du Mètre, 2018)

Capítulo II. Características de las imágenes de satélite

2.1 Definición de las imágenes satelitales

En este capítulo se desarrollaron los elementos principales de la PR, a partir de un marco histórico y de su posterior evolución para el entendimiento de la funcionalidad y las técnicas de la PR. Posteriormente se abordarán los sensores remotos y sus características, dentro de las que se encuentran los tipos de sensores existentes, sus plataformas y sus resoluciones.

El capítulo finalizará con los elementos de adquisición de imágenes de satélite

2.1.1 Historia de la Percepción Remota

La teledetección remota tiene como antecedente a la fotografía, ésta comienza a desarrollarse a finales del XIX pero no se consolida sino hasta el siglo XX gracias a Joseph Nicéphore Niépce (1765 – 1833 Francia) quien fija sobre una sustancia, las imágenes reflejadas en el fondo de una cámara oscura. Para ello disponía con el fondo de una cámara oscura, hojas de papel emulsionadas con sales de plata, las que se ennegrecen bajo la acción de la luz (Escuela de Fotografía Spéos, 2017). El resultado es el procedimiento fotográfico por el que se obtiene una fotografía directa, carente de negativo; en ella se produce tan sólo una prueba o fotografía única.

No es hasta el empleo del avión como plataforma y su desarrollo que surge la teledetección aérea, ya que ésta, se encuentra ligada a las aplicaciones con fines militares, y para la Segunda Guerra Mundial se expandió la toma de fotos aéreas desde aviones y además, se

implementó por primera vez el uso de películas sensibles a la luz infrarroja (que permitía diferenciar los objetos camuflados de la vegetación real) (León, 2002).

Es evidente que la madurez de la teledetección aérea es posible gracias a sus bases en la fotointerpretación de pares estereoscópicos de fotografías aéreas. No obstante, al mismo tiempo, se asiste al nacimiento de una nueva forma de observar la Tierra impuesto por un salto tecnológico que terminó por introducir las plataformas satélites que reemplazaron a las aéreas y los diferentes sensores electrónicos multispectrales acoplados a computadoras, que reemplazaron a las cámaras fotográficas (Martínez, 2005).

El término teledetección no existe en inglés, en su lugar se utiliza el término "remote sensing", que es un término acuñado por la geógrafa/oceanógrafa Evelyn Pruitt (San Francisco, 1918 - 2000) durante el tiempo en que trabajó para el ONR (USA Office Naval Research). Se cree que el término apareció, por primera vez, en un curso de Fotogeología en la reunión Anual de la Sociedad Americana de Geología en 1958. El término comenzó a utilizarse por la Dra. Pruitt para caracterizar las primeras vistas espaciales de la Tierra obtenidas mediante los primeros satélites meteorológicos que eran, evidentemente, más "remotas" que las que se obtenían hasta dicha fecha por los aviones (Antoranz, 2009).

Actualmente los términos teledetección o remote sensing están absolutamente establecidos e indican la adquisición de información a distancia.

Debido al desarrollo armamentista durante la Segunda Guerra Mundial, fue posible una aceleración en el desarrollo de la óptica de las cámaras de reconocimiento para las plataformas de observación a distancia, hecho que se intensificó en la Guerra Fría por el inicio

de la carrera en el desarrollo de las nuevas tecnologías de observación a distancia entre los Estados Unidos de América y la Unión Soviética Socialista.

Resultado de las innovaciones tecnológicas en 1957 la Unión Soviética Socialista lanza el primer satélite artificial al espacio; el Sputnik I y a partir de éste evento se impulsaron una serie de misiones civiles y militares, que han permitido no solo la exploración de nuestro planeta, sino también de la luna y los planetas vecinos (Chuvieco, 2002)

Después de iniciarse esta carrera espacial, las plataformas para adquirir datos de manera remota se volvieron una prioridad para la apreciación espacial.

Por su parte los Estados Unidos de América en 1960 pone en órbita el primer satélite de la serie TYROS, pionero de misiones de observación meteorológica, junto a estos satélites en los años setenta se impulsaron misiones con el objetivo de la exploración del sistema solar y la luna (Rodríguez, 2005).

2.1.2 Definición

La Percepción Remota (PR) posee varias definiciones acuñadas por distintos exponentes de la materia que consideran debe poseer la herramienta, sin embargo la utilizada para este trabajo es una adición a la original propuesta por la Dra. Evelyn Pruitt a mediados de 1950, siendo ésta: "aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas remotas y en donde entre la Tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por la reflexión de la energía solar o de un haz de energía artificial generada por el mismo sensor" (Khorram, 2012).

En otras palabras, es la adquisición de información sobre un objeto a distancia, sin que exista algún tipo de contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador. (Chuvieco, 2002). Sin embargo, Chuvieco también menciona que la PR no engloba sólo los procesos que permiten obtener una imagen, sino también su posterior tratamiento en el contexto de una determinada aplicación.

Con base en la definición acuñada por Chuvieco un sistema de PR incluye los siguientes elementos y que pueden ser observados en la figura:

- 1 Fuente de Energía: Supone el origen de la radiación electromagnética que detecta el sensor. Puede tratarse de un foco externo a éste, en cuyo caso se habla de teledetección pasiva, o de un haz energético emitido por el sensor (teledetección activa). La fuente de energía más importante es el sol. (Figura 2.1)
- 2 Cubierta Terrestre: Formadas por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedente de la luz solar y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.
- 3 Sistema sensor: Compuesto por el sensor, propiamente dicho, y la plataforma que lo alberga. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- 4 Sistema de Recepción-Comercialización: Es donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado, y, tras las oportunas correcciones se distribuye a los interesados.

- 5 **Intérprete:** Convierte los datos en información temática de interés, ya sea visual o digitalmente, de cara a facilitar la evaluación del problema de estudio.
- 6 **Usuario:** Es el encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven.

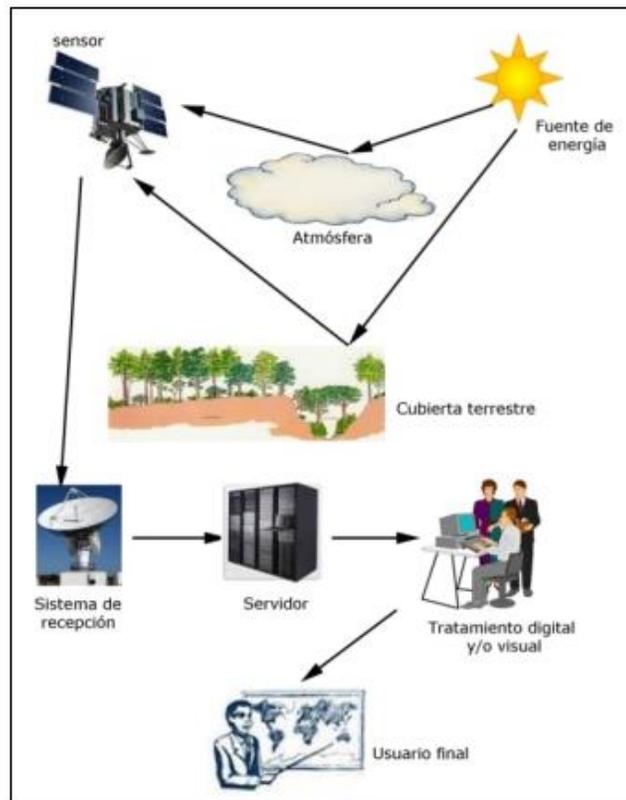


Figura 2.1 Ilustración de los pasos de la PR con base en la ilustración de Chuvieco (2002) modificada por Ramos Lugo, Zoneidy, 2016.

El resultado de los procesos de la PR es una imagen satelital.

Una imagen satelital entonces, es la representación visual de los datos obtenidos por la reflectancia y la emitancia de la superficie terrestre que captura un sensor montado en un satélite artificial (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

Estas imágenes están conformadas por mallas organizadas en filas y columnas del mismo tamaño, llamados píxeles, que representan la brillantez correspondiente al terreno mediante un valor numérico, número digital o nivel digital (ND). El conjunto de píxeles de una imagen forman una imagen raster. En la mayoría de las imágenes satelitales el rango de valores del ND de los píxeles va desde 0 hasta 255 (el valor de ND está sujeto a los bits que maneje la imagen), correspondiendo al rango de intensidades de la brillantez de cada pixel (León, 2002).

2.1.3 Radiación Electromagnética

La radiación electromagnética puede definirse como aquel proceso en el que se emite energía bajo la forma de ondas o partículas materiales y pueden propagarse tanto a través de un medio material como en el vacío. Se diferencian unas de otras en el valor de su frecuencia. Cuanto mayor es la frecuencia de una radiación, mayor es su energía (Valência, 2017).

La energía transportada por las ondas electromagnéticas se llama energía radiante, y el proceso físico generador de energía radiante se llama radiación. La radiación electromagnética se genera por la transformación de energía (Ormeño, 2006).

La radiación electromagnética resulta entonces, una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro de acuerdo a la teoría ondulatoria (Chuvienco, 2002) en donde la energía electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo.

La longitud de onda (λ) hace referencia a la distancia entre dos picos sucesivos de una onda, mientras que la frecuencia (ν) designa

el número de ciclos pasando por un punto fijo en una unidad de tiempo. Ambos elementos están inversamente relacionados, (Chuvieco, 2008) cumpliendo con la ecuación correspondiente:

$$v = c/\lambda$$

Donde C es la velocidad de la luz con un valor constante (3×10^8 m/s) V es la frecuencia de la luz en herzios (Hz) o ciclos por segundo, y λ (lambda) es la longitud de onda de la luz en metros (Pérez, 2007) (Figura 2.2)

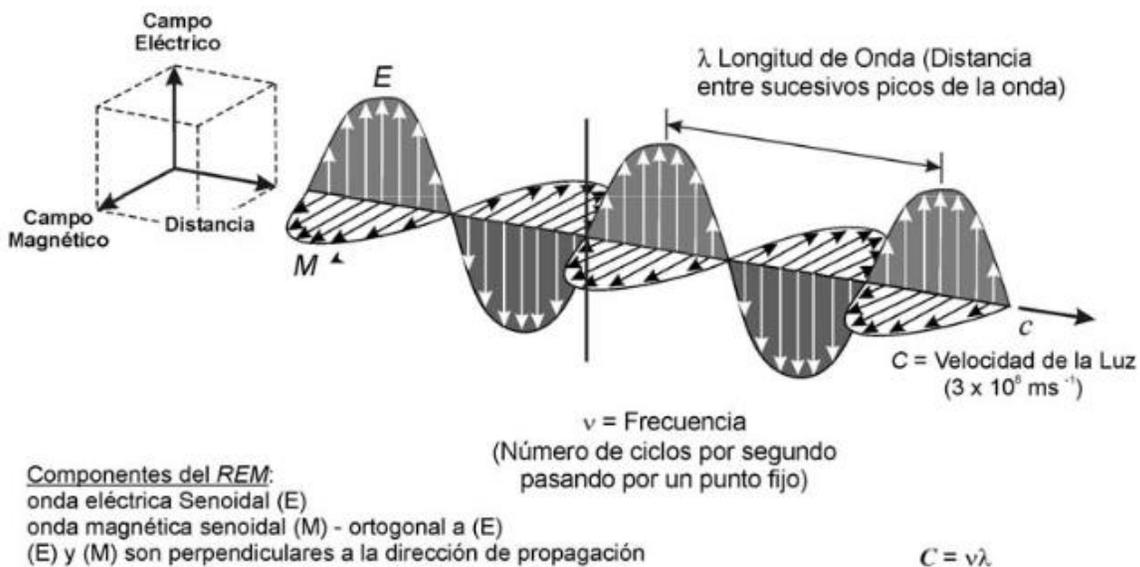


Figura 2.2 Diagrama de Longitud, Frecuencia y Velocidad

Las regiones del Espectro Electromagnético se definen según, longitud de onda, frecuencia y energía. La organización de estas bandas de longitudes de onda o frecuencia se denomina espectro electromagnético, comprendiendo desde las longitudes de onda más cortas (rayos gamma, rayos X), hasta las kilométricas (telecomunicaciones) (Chuvieco, 2002) (Figura 2.3).

2.1.4 Rangos del espectro electromagnético utilizados en imágenes satelitales

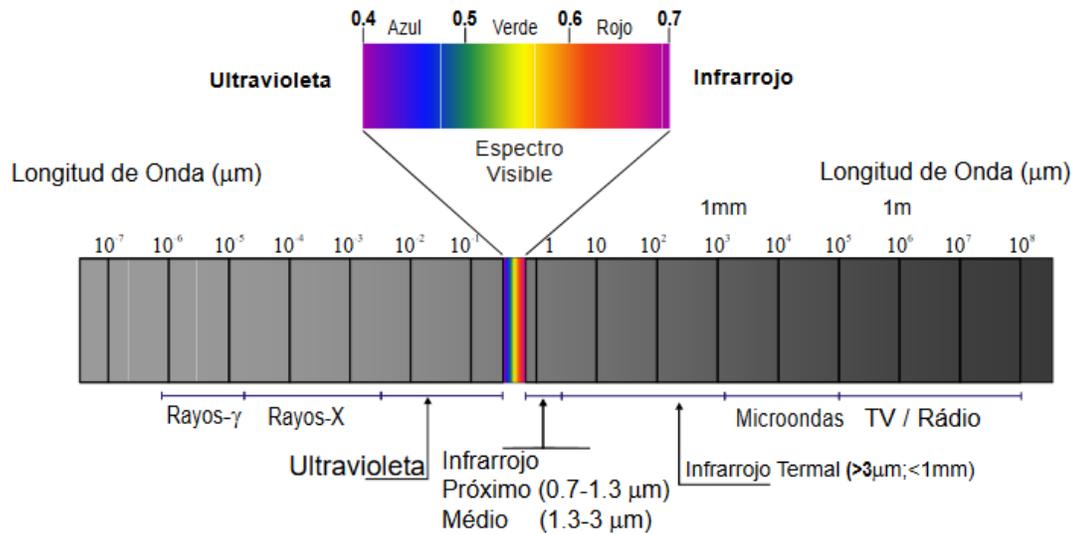


Figura 2.3 Espectro electromagnético (Pérez, 2007)

Rangos del Espectro Electromagnético: (Chuvieco, 2002)

- **Espectro Visible (0.4 a 0.7 μm):**
Es el rango de la radiación electromagnética en donde el ojo humano es capaz de percibir. Es el rango más limitado.
- **Infrarrojo Cercano (0.7 a 1.3 μm):**
Éste en particular es de suma importancia ya que en este rango es posible discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- **Infrarrojo Medio (1.3 a 8.0 μm):**
En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.
- **Infrarrojo Lejano (8.0 a 14.0 μm):**
Incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres. Es decir, es la longitud de onda de la radiación electromagnética que genera la superficie terrestre.

- Microondas (A partir de 1 mm):

Es energía bastante transparente a la cubierta nubosa y cubre las longitudes de onda más largas utilizadas en PR. Las longitudes de ondas más cortas tienen propiedades similares a la región del infrarrojo térmico.

Por lo tanto tenemos que; la radiación electromagnética se presenta como una distribución continua de frecuencias. Este espectro está estructurado en una serie de bandas espectrales en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento parecido. No todas las bandas presentan igual interés desde el punto de vista de la teledetección (Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2018).

Para esta investigación se utilizaron las imágenes del satélite Landsat 8 que incorpora dos instrumentos de barrido obtenidas por el sensor Operational Land Imager (OLI) y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9 (USGS, 2017) Tabla 2.1.

Las bandas TIRS 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km) (Ariza, 2013).

Tabla 2.1 Distribución de las bandas en OLI y TIRS (USGS, 2017)

LANDSAT 8	BANDAS	LONGITUD DE ONDA (micrómetros)	RESOLUCIÓN (metros)
Operational Land Imager (OLI)	Banda 1 Visible	0.43-0.45 μm	30 m
	Banda 2 Visible	0.45-0.51 μm	30 m
	Banda 3 Visible	0.53-0.59 μm	30 m
	Banda 4 RED	0.64-0.67 μm	30 m
	Banda 5 Near Infrared (NIR)	0.85-0.88 μm	30 m
	Banda 6 SWIR 1	1.57-1.65 μm	30 m
	Banda 7 SWIR 2	2.11-2.29 μm	30 m
	Banda 8 Panchromatic (PAN)	0.5 -0.68 μm	15 m
	Banda 9 Cirrus	1.36-1.38 μm	30 m
Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 10 TIRS 1	10.6-11.19 μm	100 m
	Banda 11 TIRS 2	11.5-12.51 μm	100 m

2.1.5 Radiación Térmica: cuerpo negro

La radiación térmica es la radiación que emiten los cuerpos como consecuencia de su calor interno. (Rodríguez, 2015) Además de emitir radiación, los cuerpos absorben y reflejan, e incluso también la transmiten si alguna de sus dimensiones es lo suficientemente delgada por su composición. La emisividad o emitancia (ϵ) entonces, es la propiedad que indica la eficacia con que una superficie emite radiación térmica. (Figura 2.4). En un cuerpo hipotético que emite la máxima radiación para la temperatura, no refleja ni transporta la energía incidente y absorbe toda la energía incidente cayendo en todas las longitudes de onda y desde todas direcciones (Vázquez, 2016).

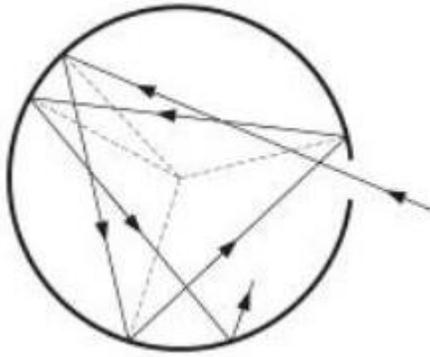


Figura 2.4 Realización del cuerpo negro (Burbano, 2006)

2.1.6 Radiación Electromagnética y la Atmósfera

La radiación electromagnética al ser el traslado de la energía de dentro hacia afuera y viceversa del sistema, éste posee un rango muy amplio de variación, por lo cual facilita su observación y su estudio en la atmósfera, en el campo donde interactúa este proceso de traslado. El efecto verdadero de la atmósfera sobre la energía transmitida varía con diferencias de recorrido, al igual que con la intensidad de la señal emitida. La atmósfera afecta a la radiación incidente mediante los mecanismos de dispersión, absorción y emisión (Pérez, 2007).

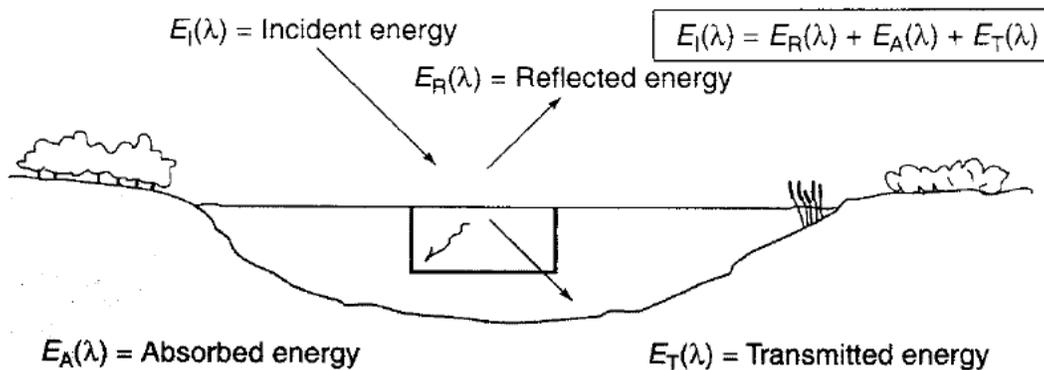


Figura 2.5 Efecto de la energía con la incidencia sobre la atmósfera

Dentro de los sensores satelitales hay una división de su instrumentación en dos tipos: (Figura 2.5)

2.1.7 Sensores pasivos de captación de imágenes

Miden la energía electromagnética proveniente del sol que rebota en la superficie terrestre (albedo), no poseen radiación propia y siempre dependen de una fuente de iluminación externa.

2.1.8 Sensores Activos

Los sensores activos proveen su propia fuente de iluminación. Estos sensores emiten radiación, la cual es dirigida al objeto o superficie terrestre en cuestión. Generalmente trabajan longitudes de onda que no provienen del Sol como son las microondas, además de tener un mejor control respecto a la forma en que el objeto es iluminado. La ventaja de los sensores activos es que pueden obtener información en cualquier tiempo (día o noche) (Galeana, 2017). (Figura 2.6).



Figura 2.6 Diferenciación gráfica entre sensores pasivos y sensores activos. (Pérez, 2007)

Según el Principio de Funcionamiento. Los sensores activos y pasivos se agrupan en dos categorías: (Pérez, 2007)

- Sensores de no-barredura: registran la radiación reflejada de un área de superficie de la Tierra en su totalidad en un mismo instante.
- Sensores de barradura: la imagen se forma por la adquisición secuencial de imágenes elementales del terreno o elementos de resolución; llamado "pixel".

2.2 Clasificación de los sensores satelitales

2.2.1 Satélites en Función de su órbita

La ruta que sigue un satélite se le denomina órbita. La definición se encuentra en función de las características y objetivos de los sensores que llevan (Galeana, 2017).

Los parámetros que definen una órbita son:

- La altitud o radio (Apogeo y Perigeo).
- Orientación relativa a la superficie terrestre.
- Período.

2.2.2 Satélites Geoestacionarios

Los satélites geoestacionarios se desplazan alrededor de la Tierra en una órbita ecuatorial, alta (aproximadamente 35,900 km). A esa distancia la velocidad orbital del satélite es la misma que la de rotación de la Tierra, por ello los satélites parecen estar fijos sobre un punto de la Tierra (Sobrino, 2000).

2.2.3. Satélites de comunicaciones

Realizan transmisiones mundiales de comunicaciones telefónicas y de televisión. Fueron los primeros en consolidarse en el uso comercial del espacio, generan más de 3 billones de dólares anuales.

2.2.4 Satélites Meteorológicos

El primer satélite meteorológico colocado en la órbita de la Tierra fue el TIROS 1 (Television and Infrared Observation Satellite), de origen americano, lanzado en abril de 1960. Tienen radiómetros infrarrojos, que les permite operar sobre la fase oscura de la tierra. (Pérez, 2007)

2.2.5 Satélites Polares-cercanos

Llamado así por la inclinación de la órbita relativa a una línea que corre entre los polos Norte y Sur. El satélite viaja con dirección norte de un lado de la Tierra y al sur durante la otra mitad de su órbita (Galeana, 2017).

Estas órbitas solo son posibles entre los 300 y 1500 km de altitud. Para poder observar un área tan grande de la Tierra, la inclinación de la órbita es casi de 90°, es decir, casi polar, de forma que la cobertura de la Tierra visible por el satélite se extiende entre los dos polos. Su periodo de revolución es corto, inferior a 2 horas, y realizan al menos 12 vueltas alrededor de la Tierra en 24 Horas (Sobrino, 2000).

Satélites para el estudio de Recursos Naturales.

Registran datos de fenómenos físicos, químicos y biológicos de la superficie de la Tierra y la atmósfera, son de órbita baja, aunque a cientos de km de altitud.

2.3 Tipos de resoluciones

2.3.1 Resolución Temporal

La resolución temporal alude a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor, dicho de otra forma, la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación) así como del diseño del sensor principalmente del ángulo total de cobertura (Chuvieco, 2002).

De acuerdo al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; para la mayoría de los satélites, la frecuencia de cobertura para cualquier sitio particular es igual al ciclo de repetición, o la duración en tiempo que le toma dar la vuelta a la Tierra.

Por tanto, la resolución temporal es la periodicidad con que un sensor remoto adquiere imágenes de la misma porción terrestre.

2.3.2 Resolución Espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En este sentido, un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas (Chuvieco, 2002). Según la gama del espectro y el número de bandas en donde se mida la reflectancia, tenemos diferentes tipos de imágenes satelitales.

2.3.3 Resolución Espacial

Designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie. En los sensores óptico-electromagnéticos se prefiere utilizar el concepto de campo de visión instantáneo (instantaneous field of view, IFOV). El IFOV se define como la sección angular, medida en radianes observada en un momento determinado por el sensor. Esa distancia corresponde al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, denominada pixel (esta es la medida más generalizada de resolución espacial) (Chuvieco, 2002)

Capítulo III. Estudios previos en la identificación de biogás utilizando técnicas remotas

3.1 Estudios a escala regional

De acuerdo a los estudios previos de la identificación de biogás utilizando técnicas de PR de manera regional tenemos que hay variados estudios que se han estado documentado con información relacionada a las condiciones de operación y desarrollo de rellenos sanitarios y de los niveles de emisiones de metano, pero no han sido específicamente aplicadas a la detección calorífica superficial del suelo, entre los estudios más afines a la hipótesis que se planteó al inicio de la investigación, podemos destacar dos trabajos que plantean la utilización de técnicas de PR dirigidas a detección térmica en rellenos sanitarios. A continuación estos estudios...

"Estimación de emisiones de metano del Relleno Sanitario Bordo Poniente por medio de imágenes de satélite."

Por: Ing. Ambiental Jocelyn Alejandra Cortez Núñez.

Éste trabajo se dedicó a buscar imágenes de satélite provenientes de los sensores MODIS y ETM+ por que anteriormente se han utilizado para estimar emisiones de CH₄ en humedales mediante el Factor de Temperatura.

Después de eso se aplicó un modelo de emisión de CH₄ empírico, que considera un algoritmo basado en las bandas térmicas para calcular el Factor de Temperatura a través de la Temperatura Superficial de la Tierra (LST) y los flujos anuales y mensuales de CH₄ determinados directamente por medidas in situ o indirectamente con el Modelo Mexicano de Biogás. El conjunto de datos MODIS permitió estimar la

LST que combinada con las concentraciones de CH₄ a nivel del suelo, desde 2005 hasta 2008, posibilitando la delimitación de la sensibilidad de los sensores en la variabilidad temporal de la emisión del gas.

“Seguimiento y evaluación de la temperatura en superficie de vertederos en zonas áridas a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat.”

Por: Munizaga Plaza, Juan Antonio; Fernández San Martín, Luis; Álvarez Ávalos, Gabriel; Lobo García de Cortázar, Amaya, 2017.

En este artículo se aplica una metodología de teledetección para el análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8 para el seguimiento y evaluación de la temperatura de superficie terrestre (LST) en vertederos. Se analizaron dos casos prácticos emplazados en el desierto de Atacama, norte de Chile. El primer caso es el vertedero La Chimba y el vertedero Cerro Colorado.

En la primer investigación de la Ing. Cortez se aplicó un modelo de emisión de CH₄ considerando un algoritmo basado en las bandas térmicas para calcular el factor térmico a partir de la Temperatura Superficial de la Tierra (TST) y flujos anuales de fluidos en humedales con los sensores MODIS y ETM+, que si bien considera tanto bandas térmicas como temperatura de flujos líquidos, la parte de toma de datos de TST fue una gran referencia para la parte metodológica de esta investigación, mientras que la trabajo conjunto me permitió tener otro enfoque metodológico y temporal al utilizar un sensor anterior al aplicado en este trabajo.

3.2 Inventario de los rellenos sanitarios oficiales en México

Antiguamente la disposición final de los residuos sólidos comenzó, remontándose hace 2000 años cuando los griegos enterraban sus residuos sólidos sin compactar.

No es hasta 1930 que en la ciudad de Nueva York y California, iniciaron la compactación de los residuos con equipo pesado y cubriéndolos, así el término de "Relleno Sanitario" fue inventado (Castells, 2005).

Un relleno sanitario es entonces, el resultado de un método para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo, de manera que se proteja en la mayor proporción posible el ambiente, mediante el extendido de los residuos en capas delgadas, compactándolas para generar un menor volumen posible y cubriéndolas con tierra al término de cada ronda de compactación. (Figura 3.1)

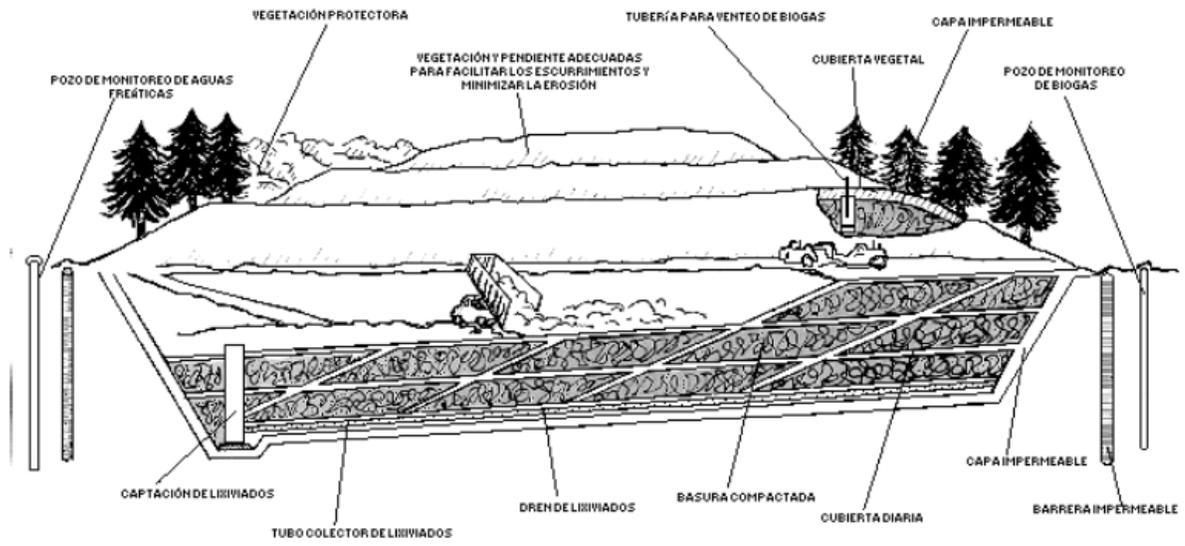


Figura 3.1 Diagrama de un relleno Sanitario (Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum, Understanding the Waste Cycle, 1991) Modificado por SEDESOL 2006.

La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. De acuerdo a ella, los rellenos sanitarios deben:

- 1) Garantizar la extracción, captación, conducción y control de los biogases generados.
- 2) Garantizar la captación y extracción de los lixiviados.
- 3) Contar con drenajes pluviales para el desvío de escurrimientos y el desalojo del agua de lluvia.
- 4) Controlar la dispersión de materiales ligeros, así como la fauna nociva y la infiltración pluvial.

En resumen, los rellenos sanitarios ideales involucran métodos y obras de ingeniería particulares que controlan la fuga de lixiviados y la generación de biogases.

Los avances en materia de rellenos sanitarios se han dado principalmente en las grandes ciudades. Cuando se analiza la disposición adecuada de los residuos por tipo de localidad, en 2011 el 90% de las zonas metropolitanas disponían adecuadamente sus residuos, es decir, en rellenos sanitarios y sitios controlados, mientras que tan sólo el 13% en las localidades rurales o semiurbanas lo hacía de la misma manera debido a falta de información e iniciativas con políticas públicas ambientales (SEMARNAT, 2012).

De acuerdo al Informe de la Situación del Medio Ambiente en México del 2012; El número de rellenos sanitarios en el país ha crecido de manera significativa en los últimos años, a continuación se presenta una tabla con el inventario de los rellenos sanitarios oficiales en México (Tabla 3.1) (Figura 3.2).

Tabla 3.1 Rellenos sanitarios por entidad federativa. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginada, SEDESOL. México. 2013.

ENTIDAD FEDERATIVA	RELLENOS SANITARIOS (Número)
Aguascalientes	1
Baja California	3
Baja California Sur	2
Campeche	4
Coahuila	6
Colima	3
Chiapas	9
Chihuahua	4
Distrito Federal/CDMX	0
Durango	4
Guanajuato	17
Guerrero	8
Hidalgo	15
Jalisco	4
Estado de México	16
Michoacán	13
Morelos	9
Nayarit	8
Nuevo León	14
Oaxaca	11
Puebla	18
Querétaro	9
Quintana Roo	8
San Luis Potosí	26
Sinaloa	3

Sonora	4
Tabasco	2
Tamaulipas	11
Tlaxcala	6
Veracruz	14
Yucatán	3
Zacatecas	5
Total	260

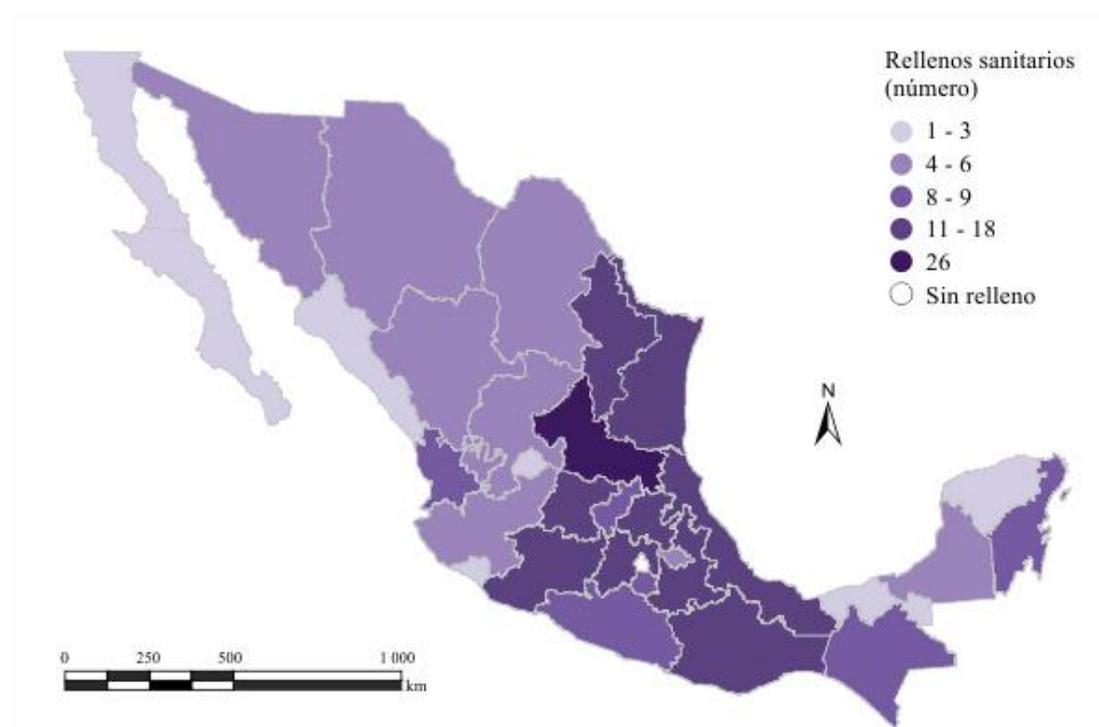


Figura 3.2 Rellenos sanitarios por entidad federativa, SEMARNAT 2012.

En diciembre de 2011, la CDMX cerró el Bordo poniente, su único relleno sanitario. A partir de esa fecha, los RSU que genera se depositan en cinco rellenos sanitarios ubicados en el Estado de México.

Todas las entidades federativas, a excepción de la CDMX, cuentan con rellenos sanitarios para disponer sus residuos; en 2012 los estados que tenían un mayor número de RS eran San Luis Potosí (26), Puebla

(18), Guanajuato (17), Estado de México (16), Hidalgo (15), Veracruz y Nuevo León (cada uno con más de 14 rellenos).

De acuerdo a la problemática ambiental de los residuos y su disposición en México, en el apartado de regulación así como de operaciones sustentables, se acentúa la necesidad de introducir nuevos métodos y técnicas para el monitoreo de los rellenos sanitarios asimilando nuevas tecnologías que ayuden en la búsqueda de reducción de contaminantes principalmente de la emisión de biogás en la atmósfera.

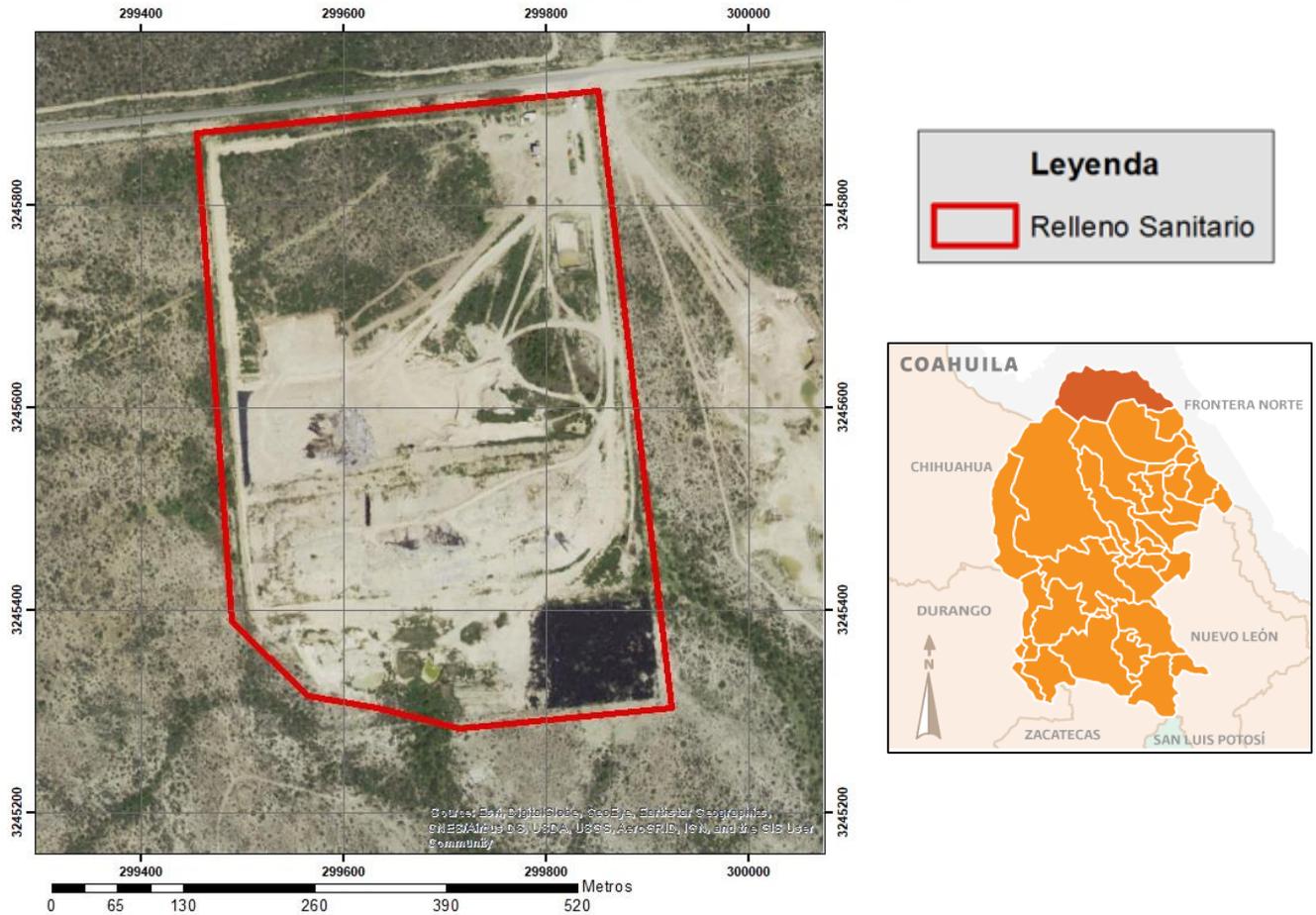
Con el fin de facilitar el rango de búsqueda de rellenos sanitarios que cuenten con las características parecidas al del relleno sanitario de Tlalnepantla de Baz, se hizo un segundo inventario con 12 rellenos sanitarios con interés en el aprovechamiento de Metano en diferentes Estados de México (ICMA, 2011). (Tabla 3.2)

Tabla 3.2 Rellenos Sanitarios con interés en el aprovechamiento del gas metano (ICMA, 2011).

Nombre del Relleno Nombre del Relleno Sanitario	Municipio y/o Estado
Acuña	Coahuila
Ahome	Sinaloa
Cadereyta Jiménez	Nuevo León
Cozumel	Quintana Roo
Cuernavaca. Relleno Sanitario Loma de Mejía	Morelos
Durango	Durango
García	Nuevo León
Guasave	Sinaloa
Hermosillo	Sonora
Piedras Negras	Coahuila
Reynosa	Tamaulipas
Saltillo	Saltillo, Coahuila

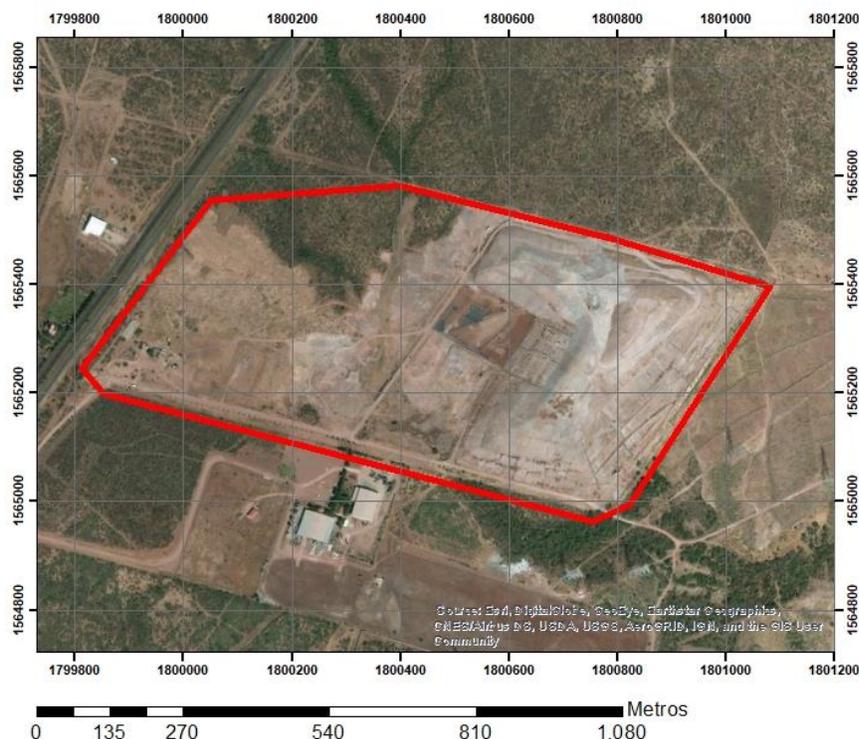
3.3 Rellenos Sanitarios

Relleno Sanitario de Acuña, Coahuila



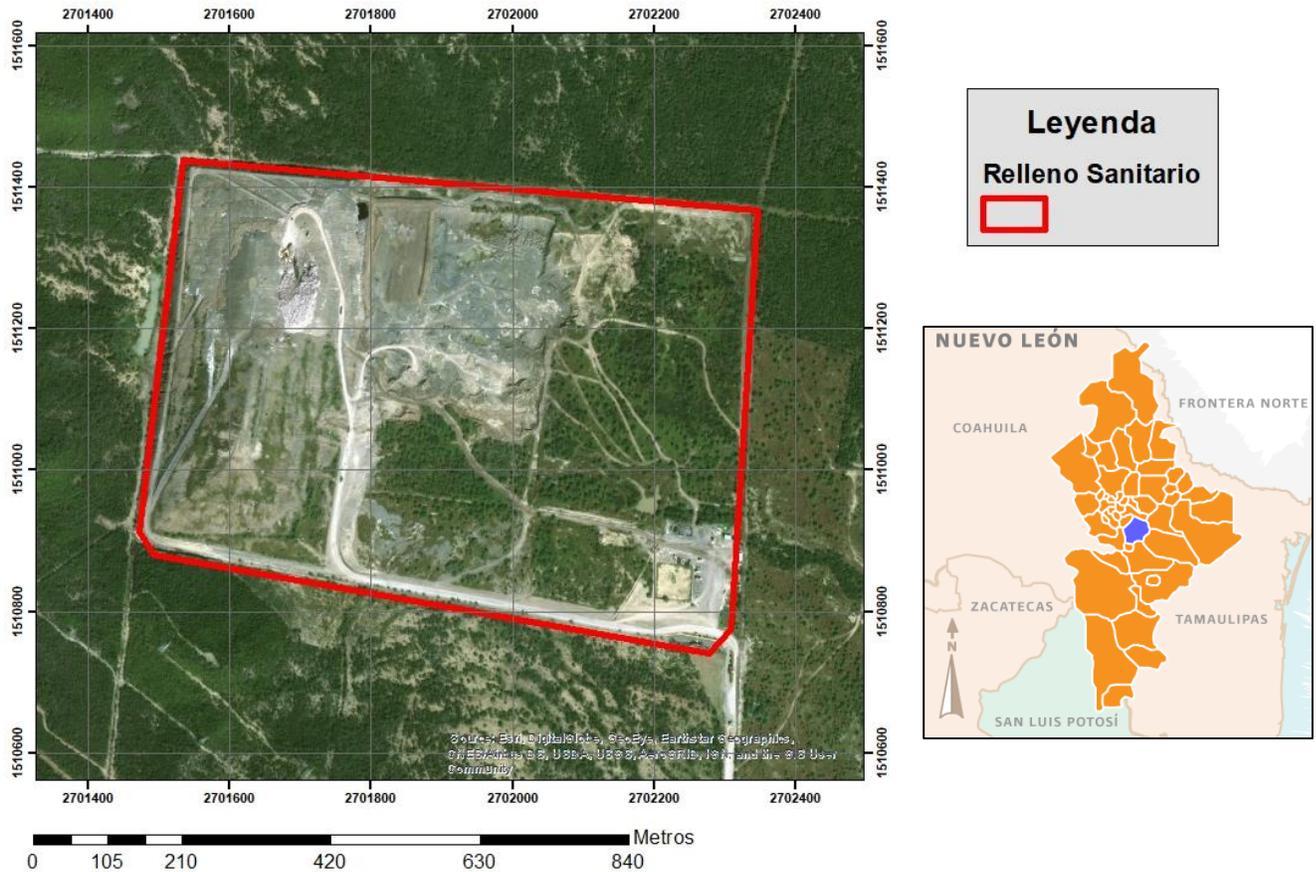
Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Acuña	Coahuila	Acuña
<p>El Relleno Sanitario de Acuña se encuentra en las coordenadas 29°19'25.22"N / 101° 3'46.39"O.</p> <p>Es un RS con una clasificación positiva ya que cuenta con todos los cumplimientos de la NOM-083SEMARNAT-2003. El lugar de confinamiento está supervisado por la concesión PASA.</p> <p>Vida útil del relleno: 25 años (de los cuales lleva 11).</p> <p>Situación Legal: Privado.</p> <p>Toneladas al día: 105.6</p> <p>(Estado de Coahuila, 2017)</p>		

Relleno Sanitario de Ahome, Sinaloa



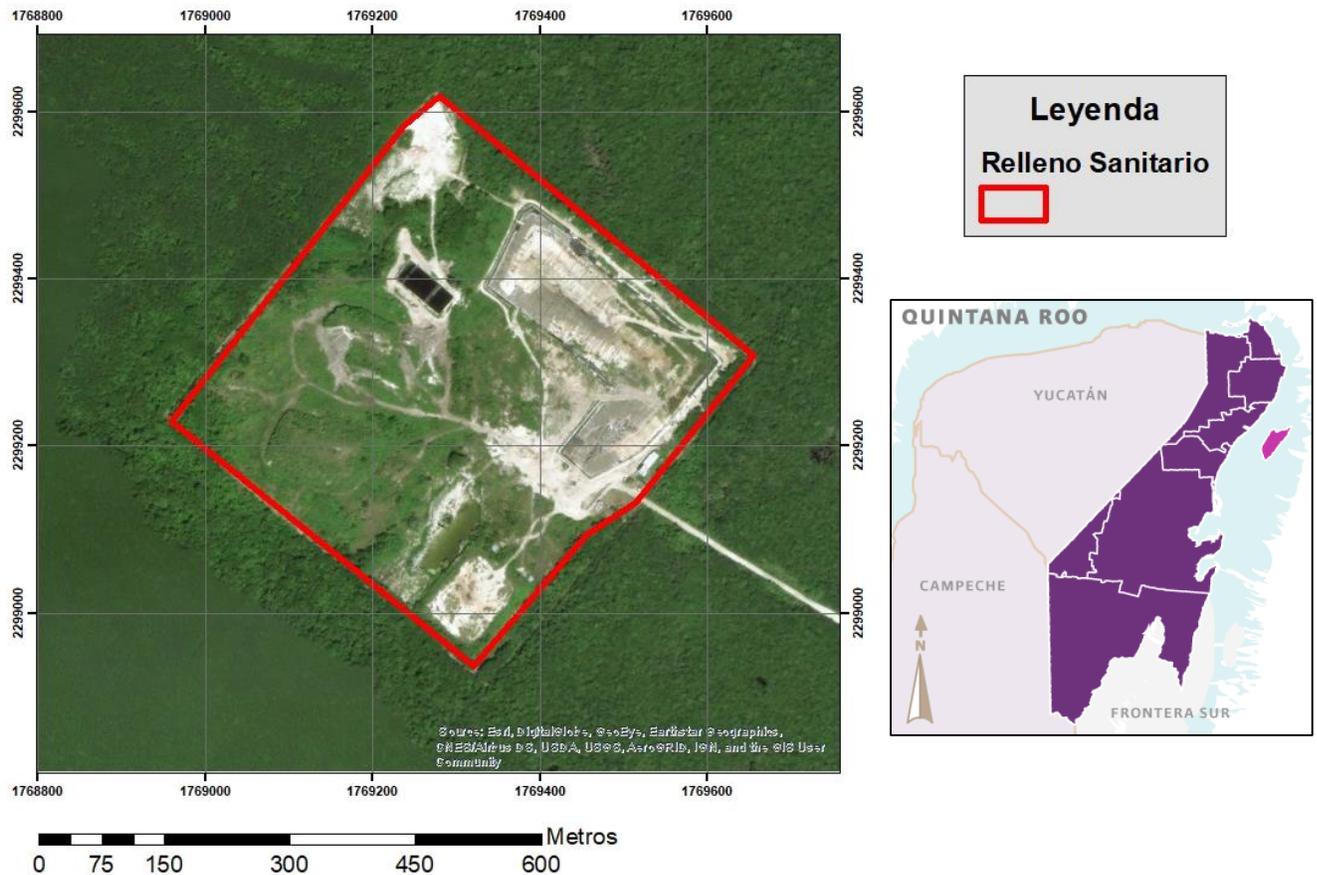
Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Ahome	Sinaloa	Ahome
<p>El Relleno Sanitario de Ahome se encuentra en las coordenadas 25°59'5.18"N / 109° 1'12.69"O.</p> <p>Es un RS con una clasificación positiva ya que cuenta con todos los cumplimientos de la NOM-083-SEMARNAT-2003. El lugar de confinamiento está supervisado por la concesión PASA.</p> <p>Vida útil del relleno: 30 años. Situación Legal: Privado. Capacidad por día: 600 toneladas.</p> <p>(Estado de Sinaloa, 2016)</p>		

Relleno Sanitario de Cadereyta Jiménez, Nuevo León



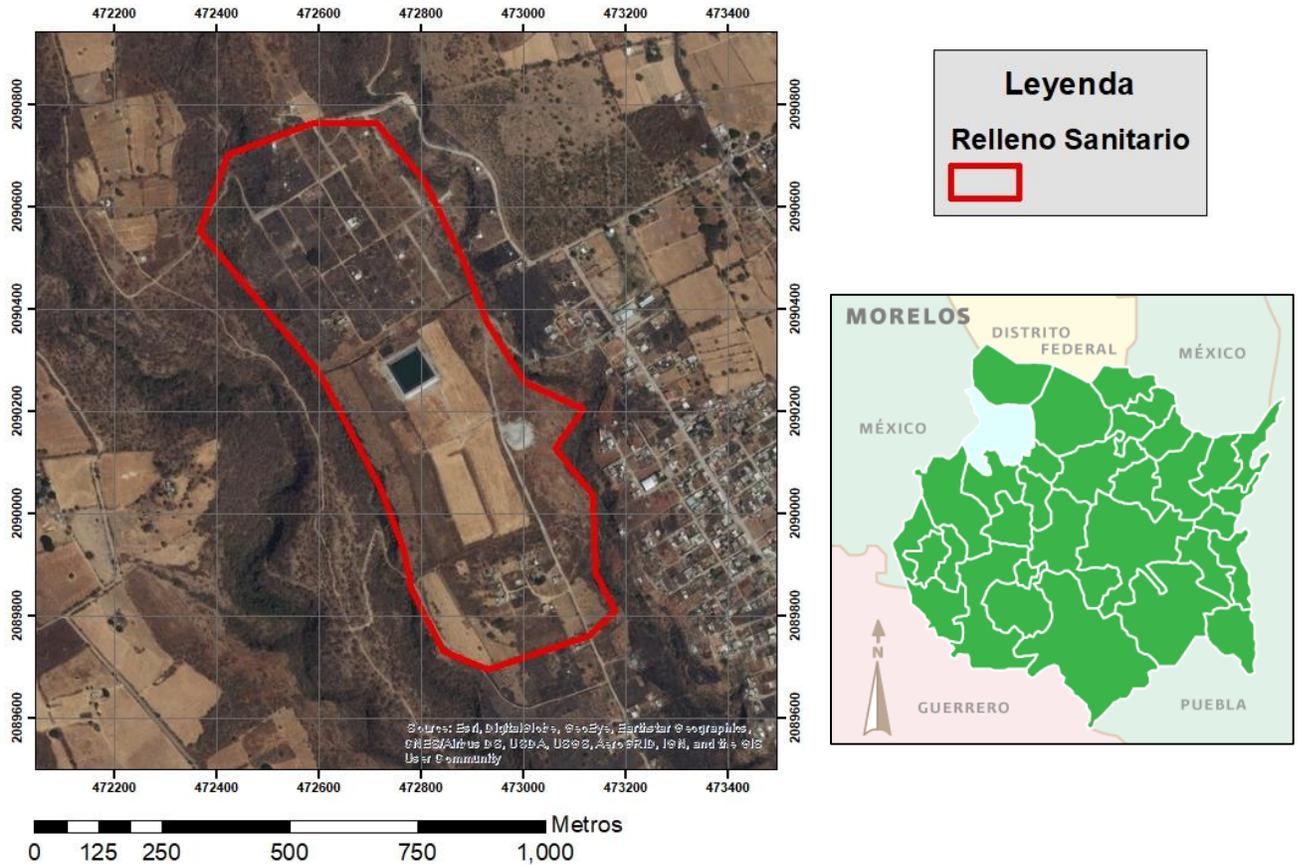
Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Cadereyta	Nuevo León	Cadereyta Jiménez
<p>El Relleno Sanitario de Cadereyta se encuentra en las coordenadas 25°38'8.88"N/ 99°58'47.21"O.</p> <p>El proyecto "Tratamiento de Residuos Peligrosos Contaminados con Hidrocarburos mediante unidades móviles dentro de las Instalaciones del Relleno Sanitario de Grupo Ecológico del Norte, S.A. de C.V. (Planta Cadereyta). El lugar de confinamiento está supervisado por la concesión PASA.</p> <p>Vida útil del relleno: 30 años. Situación Legal: Híbrido. Superficie: 35044 m².</p> <p>(Promotora Ambiental del Sureste, S.A. de C.V., 2017)</p>		

Relleno Sanitario de Cozumel, Quintana Roo



Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Cozumel	Quintana Roo	Cozumel
<p>El Relleno Sanitario de Cozumel se encuentra en las coordenadas 20°22'1.92"N / 86°54'17.87"O.</p> <p>Es el primer RS es el primero en ser certificado en Quintana Roo luego de someterse a una rigurosa auditoría, en la cual se le verificaron los rubros de aire, agua, ruido, suelo y subsuelo, así como los residuos peligrosos y los no peligrosos, el riesgo y los recursos naturales. El lugar de confinamiento está supervisado por la concesión PASA.</p> <p>Vida útil del relleno: 20 años. Situación Legal: Privado. Superficie: 8900 m².</p> <p>(PROFEPA, 2017)</p>		

Relleno Sanitario de Loma de Mejía, Morelos



Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Loma de Mejía	Morelos	Cuernavaca
<p>El Relleno Sanitario de Loma de Mejía se encuentra en las coordenadas 18°54'12.01"N / 99°15'27.55"O.</p> <p>Este RS se estableció en las especificaciones marcadas con el número 9 y 14 de la norma oficial mexicana nom-083-semarnat-2003, que establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.</p> <p>Vida útil del relleno: 20 años. Situación Legal: Privado. Capacidad por día: 350 toneladas.</p> <p>(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)</p>		

Relleno Sanitario de Durango, Durango



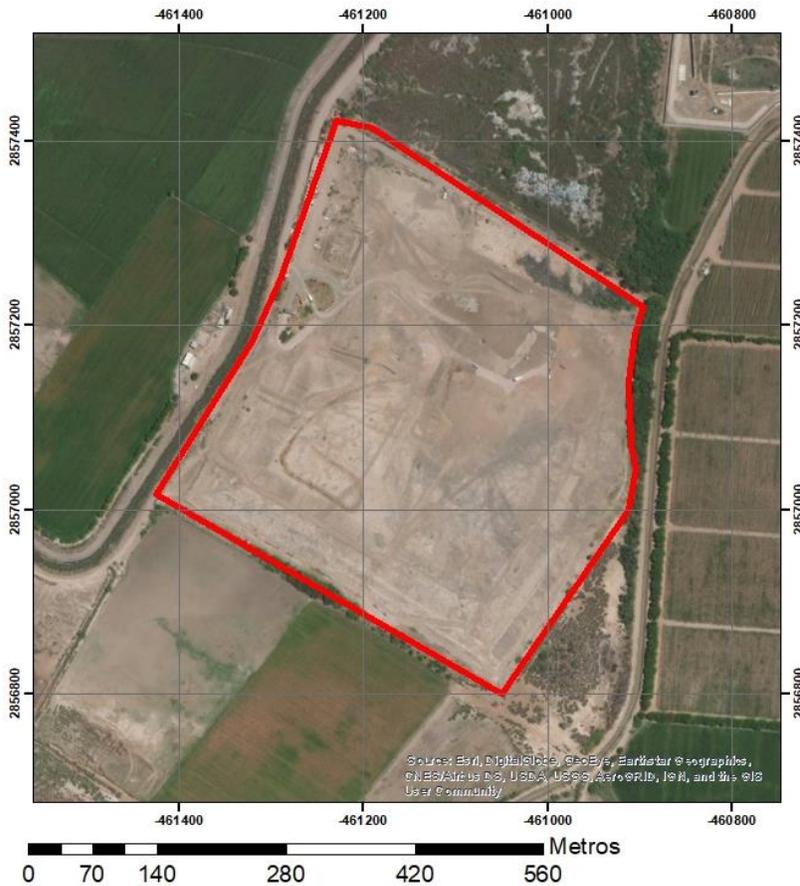
Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Durango	Durango	Durango
<p>El Relleno Sanitario de Durango se encuentra en las coordenadas 23°53'4.21"N / 104°31'0.67"O.</p> <p>De acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003, el relleno sanitario de la Cd. de Durango, cuenta con una planta de captación y quema de Biogás financiado por la empresa inglesa Biogás Technology, generando así bonos de carbono, el proyecto está certificado desde el 8 de enero del 2008 actualmente en promedio se producen 353,994 m³ de biogás, con un 450% metano.</p> <p>Superficie: 31 ha. Capacidad por día: 400-450 toneladas.</p> <p>(Cardiel, 2010)</p>		

Relleno Sanitario de García, Nuevo León



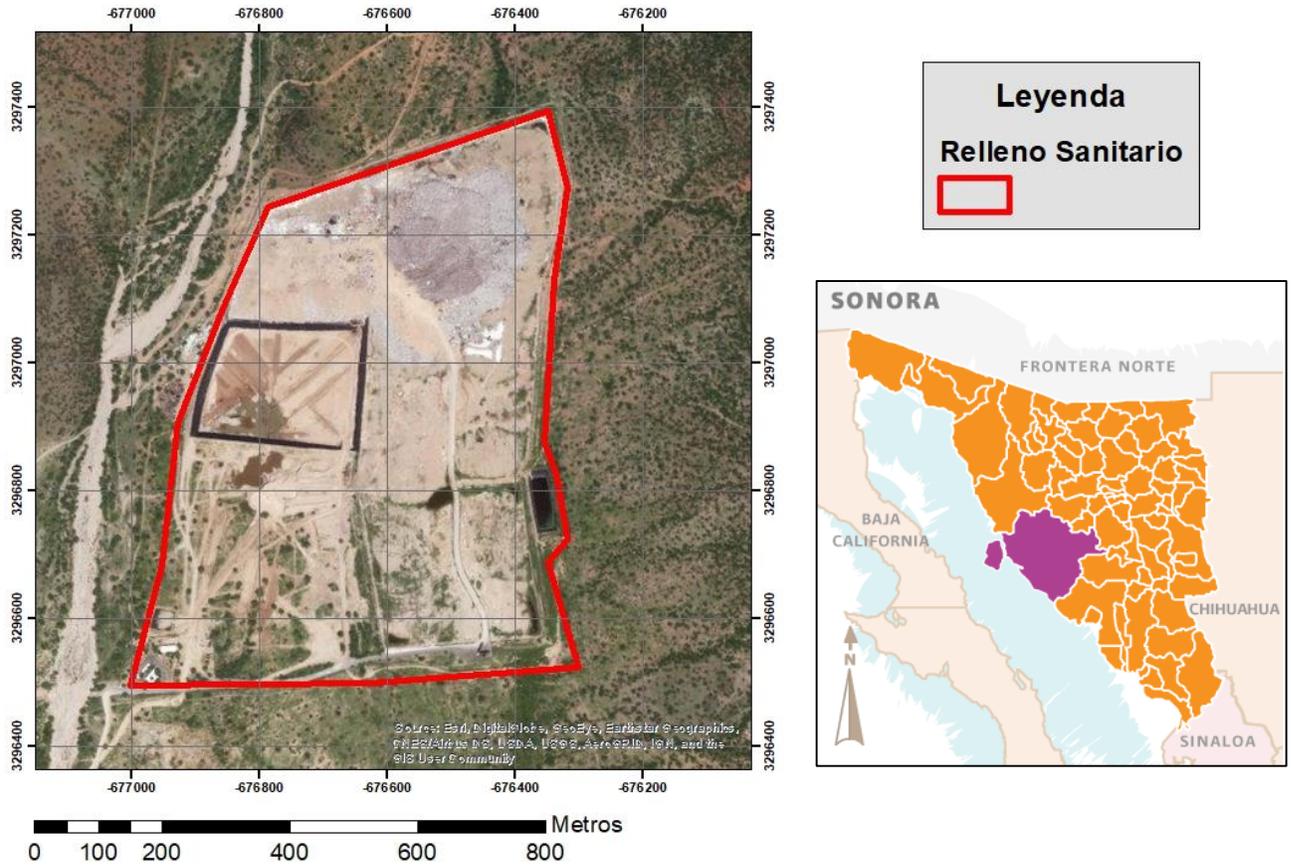
Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de García	Nuevo León	García
<p>El Relleno Sanitario de García se encuentra en las coordenadas 25°45'25.14"N / 100°33'30.99"O.</p> <p>Este RS está concesionada por la empresa; "OPRESA" dentro del sector (562). Del manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación que agrupa unidades económicas del sector privado dedicadas principalmente a proporcionar servicios de manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos, o desechos no peligrosos, y rehabilitación y limpieza de zonas contaminadas.</p> <p>(OPRESA, 2017)</p>		

Relleno Sanitario de Guasave, Sinaloa



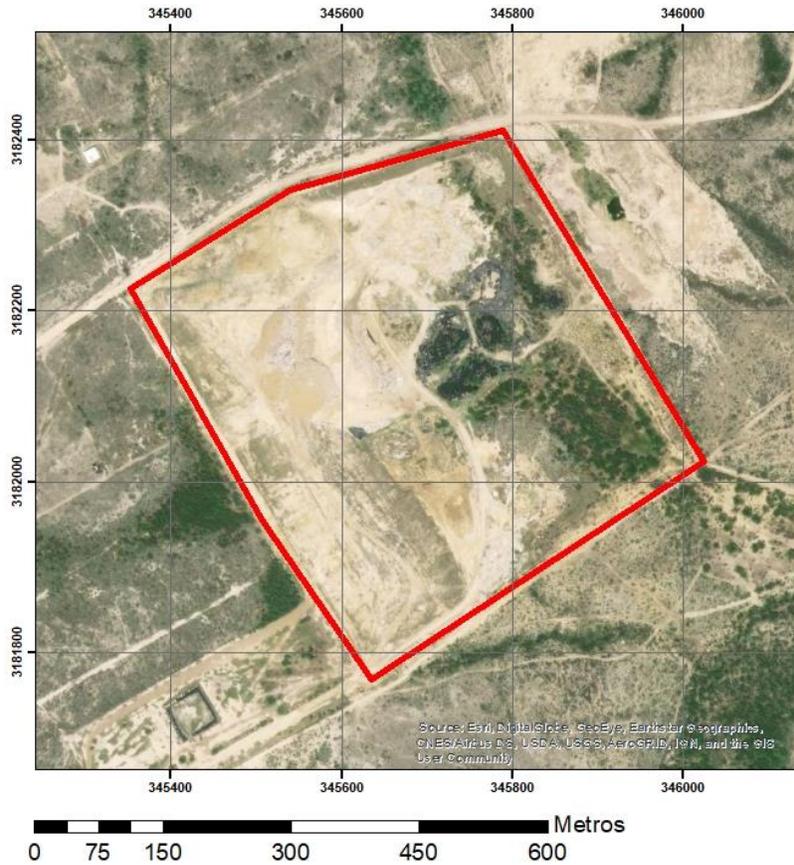
Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Guasave	Sinaloa	Guasave
<p>El Relleno Sanitario de Guasave se encuentra en las coordenadas 25°31'9.20"N / 108°32'14.00"O.</p> <p>El municipio de Guasave, Sinaloa tiene a su cargo la prestación del servicio público de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos de conformidad con lo dispuesto por los artículos 115 fracción III inciso c) de la Constitución Política del Estado de Sinaloa; y 86 fracción III de la Ley de Gobierno Municipal del Estado de Sinaloa.</p> <p>ID: Licitación Pública Nacional Presencial N° 002-GVE-2017 Concesión: DGSOPGVE-001-2017</p> <p>(Sinaloa, 2017)</p>		

Relleno Sanitario de Hermosillo, Sonora



Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Hermosillo	Sonora	Hermosillo
<p>El Relleno Sanitario de Hermosillo se encuentra en las coordenadas 29°15'3.63"N / 111° 3'46.84"O.</p> <p>El relleno sanitario cumple con las normas fijadas por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (NOM-083-SEMARNAT-2003) y lineamientos internacionales, por lo cual están selladas 3 celdas en dónde se genera el biogás y la empresa Técnicas Medioambientales Tecmed es la que tiene concesionado el servicio de disposición de los residuos sólidos del municipio de Hermosillo desde 1997.</p> <p>Vida útil del relleno: +20 años. Capacidad saturada: 33%. Capacidad por día: 700 toneladas.</p> <p>(Lozano, 2017)</p>		

Relleno Sanitario de Piedras Negras, Coahuila



Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Piedras Negras	Coahuila	Piedras Negras
<p>El Relleno Sanitario de Piedras Negras se encuentra en las coordenadas 28°45'25.34"N / 100°34'50.97"O.</p> <p>Es un RS con una clasificación positiva ya que cuenta con todos los cumplimientos de la NOM-083SEMARNAT-2003. El lugar de confinamiento está supervisado por la concesión PASA.</p> <p>Superficie: 32 ha. Situación Legal: Comodato. Toneladas al día: 170</p> <p>(Estado de Coahuila, 2017)</p>		

Relleno Sanitario de Reynosa, Tamaulipas



Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Reynosa	Tamaulipas	Reynosa
<p>El Relleno Sanitario de Reynosa se encuentra en las coordenadas 25°59'59.78"N / 98°24'43.11"O.</p> <p>En el Estado se generan al mes 83,844 toneladas de RSU, de las cuales se recolectan 77,504, atendiendo a una población total de 2,981,845 habitantes, lo que representa un 92%, del total de los Tamaulipecos. Se estima que entre el año 2014 y 2026 habrá de incrementarse en un 10% las toneladas generadas en el Estado.</p> <p>Actualmente se ha actualizado el sistema de depósito de residuos, en la inauguración de un nuevo Relleno Sanitario llamado: "Los Colibríes".</p> <p>(Gobierno Estatal de Tamaulipas, 2017)</p>		

Relleno Sanitario de Saltillo, Coahuila



Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Saltillo	Coahuila	Saltillo
<p>El Relleno Sanitario de Saltillo se encuentra en las coordenadas 25°27'32.86"N / 101° 3'2.49"O.</p> <p>Es un RS con una clasificación positiva ya que cuenta con todos los cumplimientos de la NOM-083SEMARNAT-2003. El lugar de confinamiento está supervisado por la concesión Municipal.</p> <p>Superficie: 60 ha. Situación Legal: Municipal Toneladas al día: 550</p> <p>(Estado de Coahuila, 2017)</p>		

Capítulo IV. Estudio de Caso de Relleno Sanitario de Tlalnepantla de Baz.

4.1 Características de relleno sanitario de Tlalnepantla de Baz

El relleno sanitario de Tlalnepantla de Baz se caracteriza por ser un sistema de conversión y estabilización de la basura en el que existe una generación de biogás y lixiviados durante el proceso de conversión.

Para evitar la contaminación resultante de este proceso; el biogás y los lixiviados resultantes deben ser controlados para evitar la afectación del medio (Fernández, 1997). Por tanto; el relleno sanitario resuelve el problema inmediato que representa la disposición de la basura en el municipio.

Estos servicios públicos de limpia, recolección y disposición de desechos los presta de manera continua directa el municipio, quien tiene la facultad de proponer y promover todo lo relacionado con la planeación, operación y supervisión que el sistema requiera para la recolección y disposición final de la basura (Ayuntamiento Constitucional de Tlalnepantla de Baz, 2016).

NOM-083-SEMARNAT-2003

A pesar de lo anterior mencionado se tiene que tener en cuenta una normativa establecida para la creación o disposición de RS dictaminada por la SEMARNAT, ya que establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial (SEMARNAT, 2012).

Para esta norma los rellenos sanitarios se categorizan de según la cantidad de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que reciben diariamente, tanto de domicilios, comercios e industrias (no peligrosos), como de los servicios de limpieza de calles y lugares públicos (SEMARNAT, 2012). A continuación se especifican las características y parámetros que se deben cumplir de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Tabla 4.1):

Tabla 4.1 Estudios y análisis previos requeridos para la construcción de sitios de disposición final

Tipo	Toneladas por día
A	100 o más
B	50 a 100
C	10 a 50
D	Menor a 10

Fuente: Tomada de NOM-083-SEMARNAT-2003

Las especificaciones para la selección del sitio de posible RS están delimitadas por los siguientes estudios (Tabla 4.2):

Tabla 4.2 Estudios y análisis previos requeridos para la construcción de sitios de disposición final

Estudios y Análisis	A	B	C
Geológico y Geo hidrológico Regionales	X		
Evaluación Geológica y Geo hidrológica	X	X	
Hidrológico	X	X	
Topográfico	X	X	X
Geotécnico	X	X	X
Generación y composición de los RSU	X	X	X
Generación de biogás	X	X	
Generación de lixiviado	X	X	

Fuente: NOM-083-SEMARNAT-2003

Dentro del municipio de Tlalnepantla de Baz, el relleno se encuentra en el "Antiguo Camino a Minas S/N, San Pedro Barrientos, Tlalnepantla, México, CP. 54010. En el límite norte del municipio.

Mapa de Tlalnepantla de Baz con División de Colonias

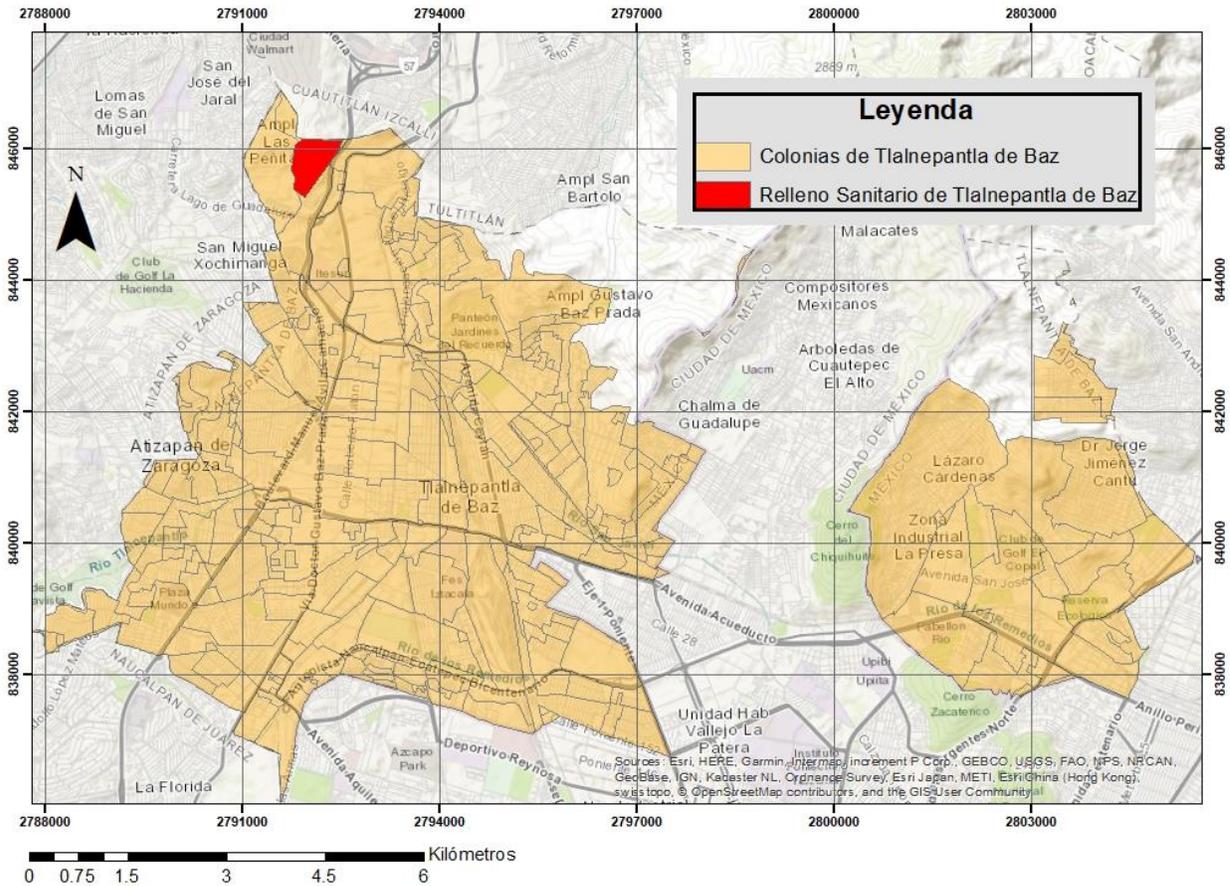
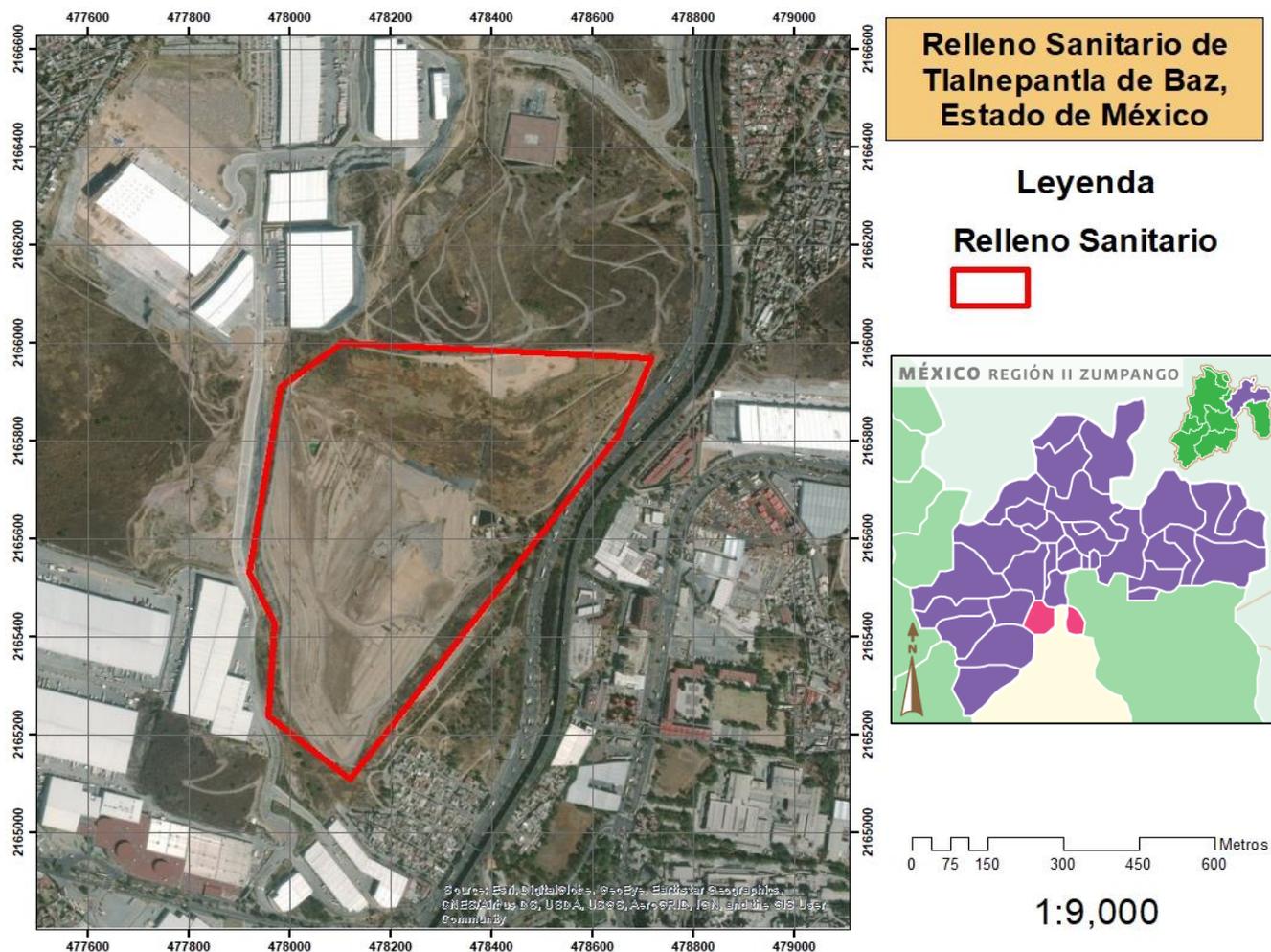


Imagen 4.4 Mapa de Tlalnepantla de Baz con División de Colonias, elaboración propia.

El Relleno Sanitario de Tlalnepantla trabaja de manera limpia y ordenada en el confinamiento desde junio de 1997 y desde el inicio contempló su capacidad hasta el año 2018, la extensión territorial consta de 28 hectáreas donde se asienta el Relleno Sanitario, y al terminar su ciclo se contempló convertir el relleno en una zona ecológica con áreas verdes. El relleno Sanitario de Tlalnepantla cuenta con las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de residuos sólidos municipales, gracias a su

estructura constituida por cuatro celdas donde los residuos vertidos se compactan y cubren diariamente (Huerta, 2006) (Mapa 4.5)



Nombre	Estado	Municipio
Relleno Sanitario de Tlalnepantla de Baz	Estado de México	Tlalnepantla de Baz
<p>El Relleno Sanitario de Saltillo se encuentra en las coordenadas 19°35'5.43"N / 99°12'24.22"O.</p> <p>Es un RS con una clasificación positiva ya que cuenta con todos los cumplimientos de la NOM-083SEMARNAT-2003. El lugar de confinamiento está supervisado por la concesión Municipal.</p> <p>Vida útil del relleno: 20 años.</p> <p>Capacidad Total: 5,840,00 toneladas u 8,342,858 m³.</p> <p>(Rodríguez, 2018)</p>		

Tabla 4.3 (Ayuntamiento Constitucional de Tlalnepantla de Baz, 2016)

MUNICIPIO	LOCALIDAD	CLASE			TIPO DE BASURA		CANTIDAD PROMEDIO	SUPERFICIE
		TB	RS	SC	MUNICIPAL	INDUSTRIAL	DIARIA (Toneladas)	
TLALNEPANTLA	SAN PEDRO BARRIENTOS		X		X	X	600	28 HECTÁREAS

“El servicio de limpia cubre 265 comunidades que se encuentran dentro del territorio municipal, por medio de 83 rutas, cubriendo el servicio en algunas colonias diariamente y en otras cada tercer día, contando con 150 papeleras, 10 contenedores, dos estaciones de transferencia una en Zona Poniente; San Pedro Barrientos, y otra en la Zona Oriente; en el Fraccionamiento Industrial La Presa. Estos son puntos intermedios para descarga de vehículos recolectores, lo cual optimiza el traslado de residuos al sitio de disposición final que es el Relleno Sanitario de Tlalnepantla donde se da el confinamiento.” (Ayuntamiento Constitucional de Tlalnepantla de Baz, 2016) Actualmente el municipio genera alrededor de 600 toneladas de basura por día, lo que significa 940 gramos por persona; es decir 740 gramos por habitante y el resto por población flotante; en operativos se contemplan de 100 a 400 toneladas extras.

A través de su filial mexicana, Proactiva, Veolia amplía del 2018 hasta el 2024, la concesión del contrato con el municipio de Tlalnepantla. Con un volumen de residuos dispuestos de más de 700 toneladas al día, el proyecto atiende a una población de 700.000 habitantes. Asimismo, este contrato prevé la autorización para el ingreso en el Relleno Sanitario de tonelaje proveniente de terceros, además de la opción de aprovechar el biogás del relleno para generar energía eléctrica (Veolia, 2014).

La implementación del Relleno Sanitario está sustentada en el documento:

El H. Ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz, México, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 115, fracciones II y III, inciso c)

de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 1 22. 1 23 y 124 de la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México: 31. Fracción 1. 125. fracción I, 164 y 165 de la Ley Orgánica Municipal del Estado de México y demás disposiciones legales aplicables ha tenido su base en el "Reglamento del servicio público de limpia y disposición de desechos del municipio de Tlalnepantla de Baz. Estado de México."

4.1.2 La aplicación el Modelo Mexicano de Biogás

El Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0

Es una metodología desarrollada por SCS Engineers (SCS) en nombre del Programa Landfill Methane Outreach (LMOP) de la agencia para la protección del medio ambiente de los EEUU (US EPA), como parte de las actividades en México del programa Methane to Markets (M2M). Se fundamenta en una representación matemática de orden uno de la degradación de los Residuos Sólidos Orgánicos que producen biogás.

Requerimientos de la metodología:

1. Caracterización de residuos.
2. Datos climatológicos.
3. Datos de operación.
4. Conformación de celdas.
5. Siniestros.

Es un modelo que permite la estimación de la generación y recuperación de biogás, y de igual manera es la base teórica para el análisis en la evaluación de la factibilidad de los proyectos de los sitios de disposición final.

El modelo provee automáticamente valores para el índice de generación de metano (K) y la generación potencial del metano (L0). Estos

valores fueron desarrollados utilizando datos específicos de RESA's representativos de México, y la relación entre los valores de K y L0 observados en RESA's de E.U.

El método utiliza una ecuación de degradación que supone que la generación de biogás llega a su máximo después de un periodo de tiempo antes de la generación de CH4 en estado gaseoso.

$$QLFG = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2KL_0 \left[\frac{Mi}{10} \right] (e^{-ktij})(MCF)(F)$$

El modelo:

- Asume que la composición de residuos promedio se aplica para todo México.
- No toma en cuenta los efectos del alto contenido de residuos de comida.

Las tendencias del modelo con una sola K son:

- Sobre estima generación en climas húmedos.
- Subestima generación en climas secos.

Las desventajas presentadas por este modelo son los siguientes:

- Los valores de K están basados en información limitada.
- Requiere que el usuario alimente datos detallados y evalúa eficiencia de captura.

4.2 Procesamiento digital de imágenes de satélite para la obtención de LST en el relleno sanitario

Los productos estándar Landsat 8, consisten en una serie cuantificada, calibrada y escalada de ND, y representan los datos de una imagen multiespectral adquirida por los sensores; Operational Land Imagen (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS), (USGS, 2017).

4.2.1. Corrección radiométrica

Los datos de las bandas del sensor TIRS y OLI están derivados en 16 bits y pueden ser reescalados a los valores de reflectancia o radiancia en el techo de la atmosfera TOA, para lo que necesitamos los coeficientes radiométricos que se encuentran en el archivo MTL.txt que están en la imagen Landsat 8, y para tener una mejor vista de este dato es preferible abrir el archivo con el programa "Wordpad".

Éste método nos permite convertir los ND en radiancia espectral con la siguiente fórmula:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

Donde:

- L_{λ} : Es el valor de radiancia espectral en el techo de la atmosfera (TOA) medida en valores de (Watts/m²*srad* μ m)
- M_L : Es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido para cada banda de los metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_x. donde x es el número de la banda).

- A_L : Es el factor aditivo de escalado específico obtenido de los metadatos (RADIANCE_ADD_BAND_x. donde x es el número de la banda).
- Q_{cal} : Es el producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

Se procede a cargar la primera de las dos bandas TIRS que son necesarias para llevar a cabo el proceso, comenzando por la banda 10 (TIRS 1) de la imagen satelital Landsat e identificando las variables dentro del Metadato, los cuales se acomodan a continuación:

GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING

- RADIANCE_MULT_BAND_10=3.3420E-04
- RADIANCE_MULT_BAND_11=3.3420E-04
- RADIANCE_ADD_BAND_10=0.10000
- RADIANCE_ADD_BAND_11=0.10000

Teniendo los valores de las variables identificadas (ML y AL) para cada una de las bandas que se utilizarán (10 y 11) pasamos sustituir los valores para la obtención del algoritmo y poder realizar la corrección radiométrica de la imagen para cada banda, resultando como se muestra a continuación:

- Para la banda 10: $(0.0003342)*float(B10)+0.1$
- Para la banda 11: $(0.0003342)*float(B11)+0.1$

Como parte de pre procesamiento de imágenes satelitales para el cálculo de temperatura de brillo es necesario pasar de niveles digitales (imagen cruda) a valores de radiancias.

4.2.2. Conversión a valores de temperatura de brillo

Para obtener la temperatura de brillo se requieren las imágenes que previamente fueron convertidos a valores de radiancia, los datos de banda TIRS se pueden convertir de radiancia espectral a temperatura de brillo utilizando las constantes térmicas, las cuales se nos son proporcionadas en el archivo de metadato:

GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS

- K1_CONSTANT_BAND_10=774.8853
- K2_CONSTANT_BAND_10=1321.0789
- K1_CONSTANT_BAND_11=480.8883
- K2_CONSTANT_BAND_11=1201.1442

Posteriormente se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_{\lambda} = \frac{K_2}{\ln \left[\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right]}$$

Dónde:

- T: At-satélite temperatura de brillo (Grados Kelvin)
- L_{λ} : TOA radiancia espectral (Wattios/(m²*srad*m))
- K_1 : constante de los metadatos (K1_CONSTANT_BAND_x, donde x es el número de banda térmica) de conversión térmica Band-específica.

- K_2 : Constante de conversión térmica específica de banda de los metadatos ($K2_CONSTANT_BAND_x$, donde x es el número de banda térmica)

El algoritmo obtenido para la obtención de la temperatura de brillo es la siguiente para cada banda:

- Banda 10: $\text{float}(1321.0789/\text{ALOG}((774.8853/B10)+1))$
- Banda 11: $\text{float}(1201.1442/\text{ALOG}((480.8883/B11)+1))$

Para obtener los resultados en Grados Celcius al final se le tiene que restar 273.15 a las dos bandas.

4.2.3. Aplicación del algoritmo de Jiménez para la obtención del LST

La temperatura superficial (Land Surface Temperature o LST) es una medida del calentamiento directo de la superficie terrestre, donde los rayos del sol son absorbidos y reemitidos, ésta proporciona información sobre las variaciones temporales y espaciales de la emisividad conocida.

Para estas imágenes se aplicará el método de Split-Window (Algoritmo de Ventana dividida), que combina los datos obtenidos simultáneamente por dos canales espectrales en la misma ventana de transmisión atmosférica (McMillin y Crosby, 1984). La base de esta técnica radica en el hecho que la atenuación atmosférica que experimenta la radiancia emitida por la superficie terrestre, es proporcional a la diferencia entre las radiancias medidas desde satélite y realizadas simultáneamente en dos canales térmicos distintos.

Para llevar a cabo el método SW, las imágenes tuvieron que pasar por un pre procesamiento, modificando su radiancia, corrección atmosférica y temperatura de brillo.

El SW es ocupado mediante el sensor TIR de Landsat-8, ya que utiliza las dos bandas de TIR ubicadas en la ventana atmosférica entre 10 y 12 μm , utilizando la fórmula de propuesta por Juan C. Jiménez-Muñoz en su artículo conjunto; Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data del año 2014:

$$T_S = T_i + C_1(T_i - T_j) + C_2(T_i - T_j)^2 + C_0 + (C_3 + C_4\omega)(1 - \varepsilon) + (C_5 + C_6\omega)\Delta\varepsilon$$

VARIABLES DEL ALGORITMO DE JIMÉNEZ-MUÑOZ (TS) DÓNDE:

- T_i = temperaturas de brillo en el sensor de la banda (10) SW i y j .
- T_j = temperaturas de brillo en el sensor a la banda (11) SW i y j .
- ε = es la emisividad media, [$\varepsilon = 0.5 (\varepsilon_i + \varepsilon_j)$]
- $\Delta\varepsilon$ = es la diferencia de emisividad, [$\Delta\varepsilon = (\varepsilon_i - \varepsilon_j)$]
- W = es el contenido total de vapor de agua atmosférico (en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)
- C_0 a C_6 = son los coeficientes SW determinados a partir de datos simulados.

La emisividad (ε) de la tierra, a diferencia de la de los océanos, puede diferir y variar con los diferentes tipos de cobertura como la vegetación, suelo, humedad superficial, rugosidad y ángulos de visión. Es por eso que se obtienen dos tipos de emisividad. Las emisividades de la vegetación (ε_v) y el suelo (ε_s). Se calcularon a partir del MODIS UCSB (Universidad de California, Santa Bárbara). Valores de emisividad de suelo y vegetación para Landsat 8 sensor TIR (banda 10 y banda11) (Jiménez-Muñoz, 2014).

Tabla 4.4 Emisividades del suelo y la vegetación para Landsat 8 TIRS banda 10 y 11

	ϵ SUELO	ϵ VEGETACIÓN
Banda 10	0.9668	0.9863
Banda 11	0.9747	0.9896

Emisividad de Suelo

$$\epsilon S = (\text{emisividad media}) = 0.5 (0.9668 + 0.9747) = 0.970750$$

$$\Delta \epsilon S = \text{diferencia de emisividad} = (0.9668 - 0.9747) = -0.007900$$

COEFICIENTES (C_n) PARA EL ALGORITMO DE SPLIT WINDOW

Tabla 4.5 Coeficientes para el algoritmo SW dado Por datos simulados, Jiménez-Muñoz, 2014.

Coefficients	Values
C0	-0.268
C1	1.378
C2	0.183
C3	54.30
C4	-2.238
C5	-129.20
C6	16.4

El contenido total de vapor de agua atmosférico (W) se obtuvo de la página de la nasa NEO para el relleno sanitario de Tlalnepantla de Baz, y para las 15 pruebas a otros rellenos sanitarios.

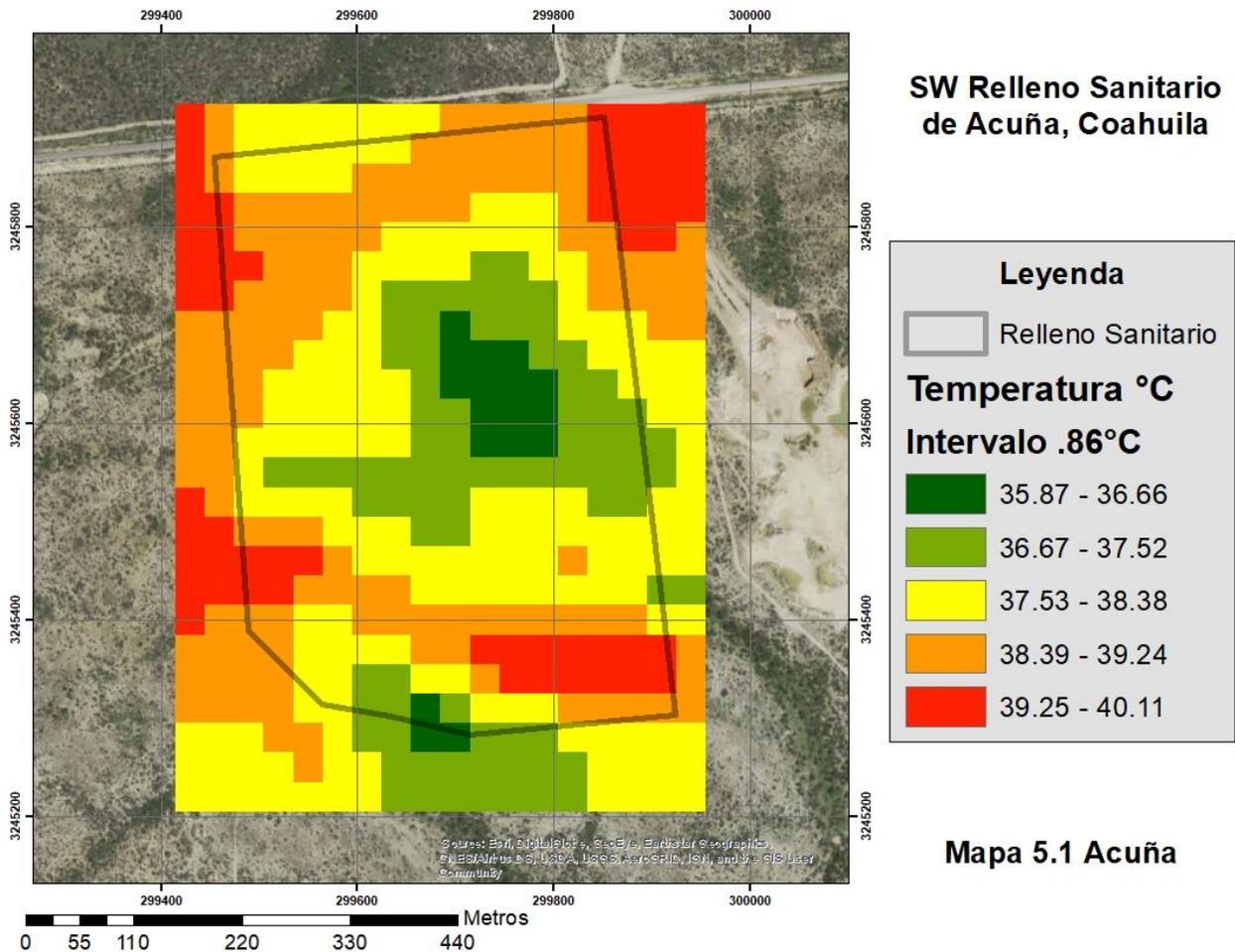
Para la aplicación del SW y la obtención del LST del relleno sanitario de Tlalnepantla de Baz se utilizó la siguiente notación gracias a los datos obtenidos anteriormente propuestos por Jiménez-Muñoz y los datos del RS de Tlalnepantla:

$$\text{"float}(b10) + ((1.378) * (\text{float}(b10) - \text{float}(b11))) + 0.183 * ((\text{float}(b10) - \text{float}(b11))^2) + (-0.268) + (54.30 + (-2.238 * (1.63))) * (1 - 0.97075) + (-129.20 + 16.40 * (1.63)) * (-0.0079) \text{"}$$

Capítulo V. Resultados y Conclusiones

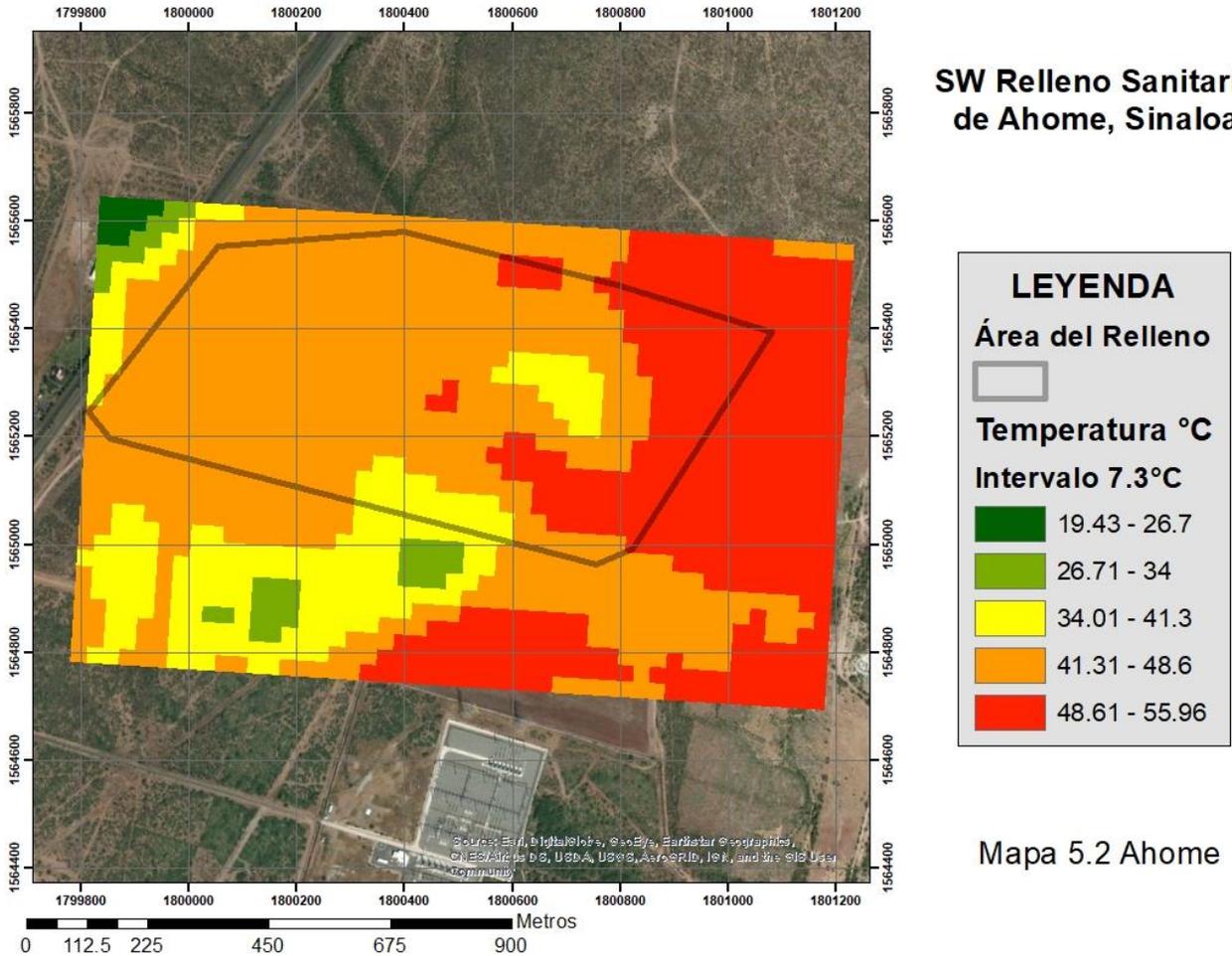
5.1 Resultados de la aplicación del algoritmo (SW) en imágenes satelitales para la obtención de LST en otros rellenos sanitarios (12) de la República mexicana

5.1.1 Relleno Sanitario de Acuña SW



Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
25 de Mayo, 2017	Estación Acuña	26.48 °C
El Relleno Sanitario de Saltillo se encuentra en las coordenadas 19°35'5.43"N / 99°12'24.22"O.		
Es un RS con una clasificación positiva ya que cuenta con todos los cumplimientos de la NOM-083SEMARNAT-2003. El lugar de confinamiento está supervisado por la concesión Municipal.		
Vida útil del relleno: 20 años.		
Capacidad Total: 5,840,00 toneladas u 8,342,858 m ³ .		
(Rodríguez, 2018)		

5.1.2 Relleno Sanitario de Ahome SW

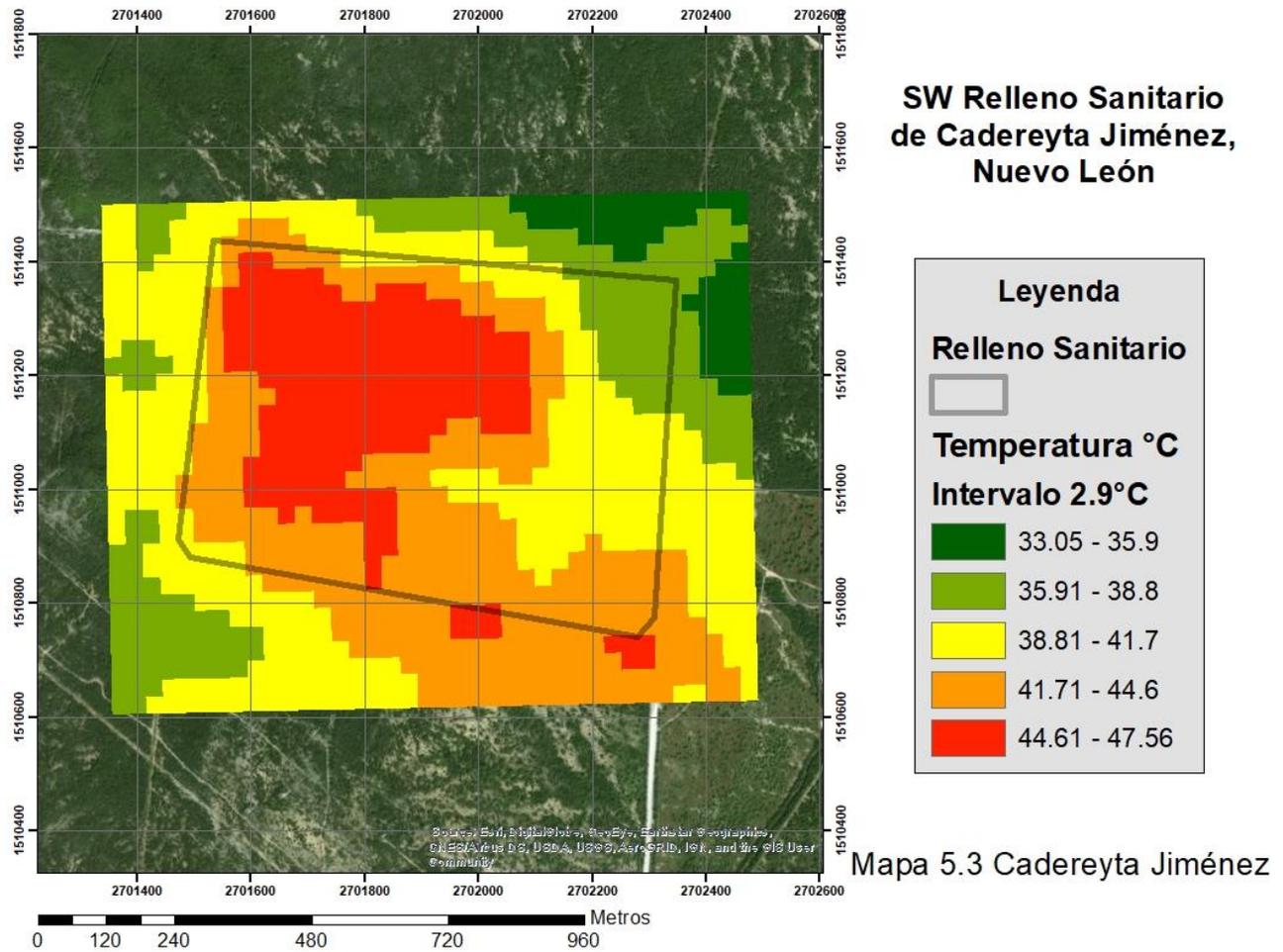


Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
25 de Mayo, 2017	Ahome	25.61 °C

De acuerdo a la información resultante de la aplicación del algoritmo SW; la temperatura superficial del relleno sanitario de Ahome es superior a la media tomada por la estación agrometeorológica de Ahome. La concentración de temperatura dentro del relleno sanitario comienza de los 34 °C hasta los 55.96 °C.

En el mapa final se observa una concentración de temperatura parecida dentro y fuera del relleno, pero el resultado es positivo con respecto a la temperatura general esperada dentro del relleno sanitario debido a la información resultante y la correlación obtenida.

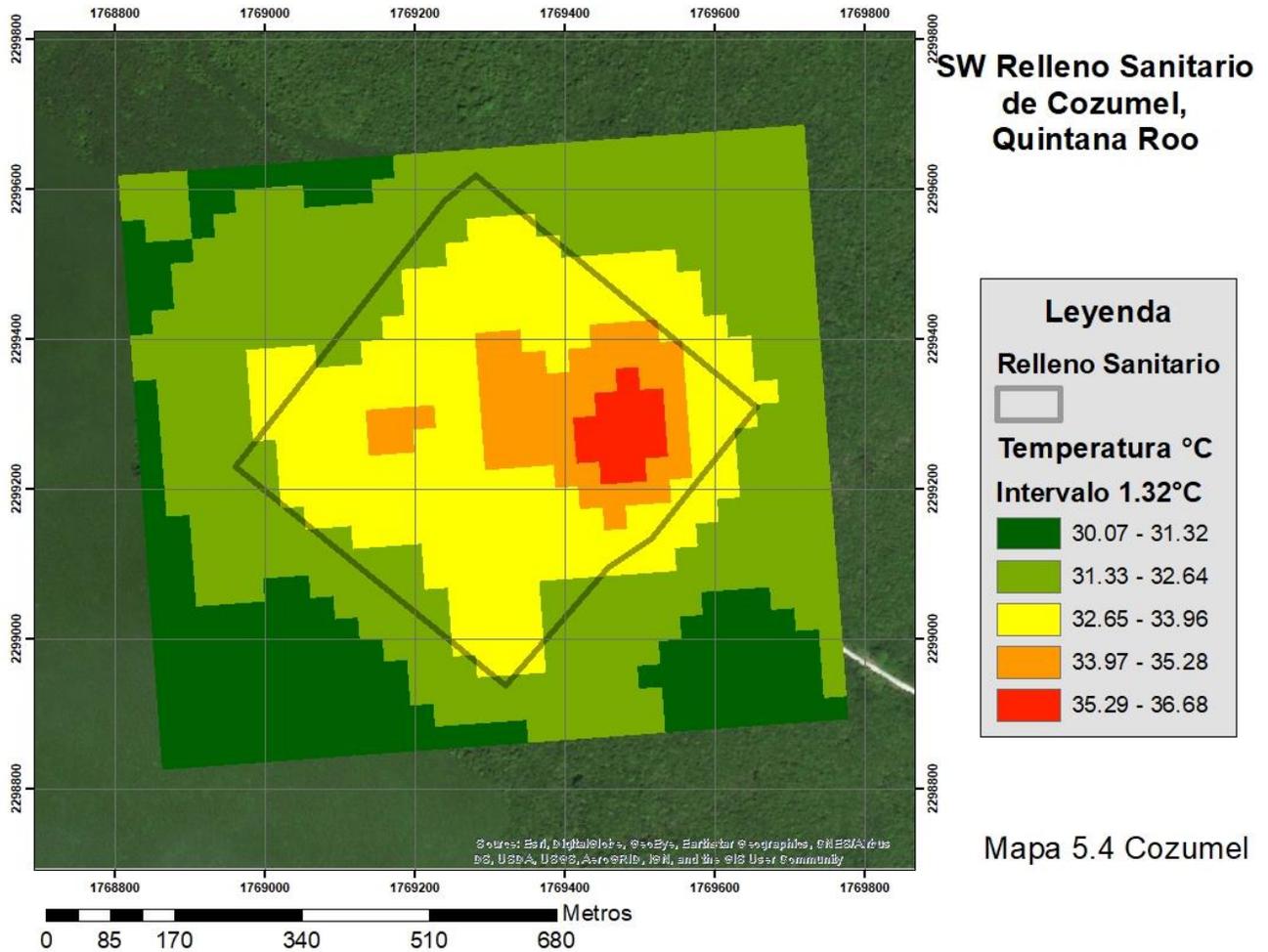
5.1.3 Relleno Sanitario de Cadereyta Jiménez SW



Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
25 de Mayo, 2017	Chihuahuita	25.21 °C

Para el caso de la temperatura superficial del relleno sanitario de Cadereyta Jiménez en Nuevo León, una vez más la temperatura del relleno sanitario es superior a la media tomada por la estación agrometeorológica. En ésta imagen resultante se observa claramente el cambio de temperatura dentro del relleno sanitario con respecto a sus alrededores, aunque por la simbología del mapa se pueda pensar en un principio que la coloración verde intenso representa una baja temperatura con respecto al promedio dado por la estación, ésta sigue siendo superior, hago un breve paréntesis en la importancia de comparar los datos dentro de la simbología de cada mapa para evitar confusiones.

5.1.4 Relleno Sanitario de Cozumel SW

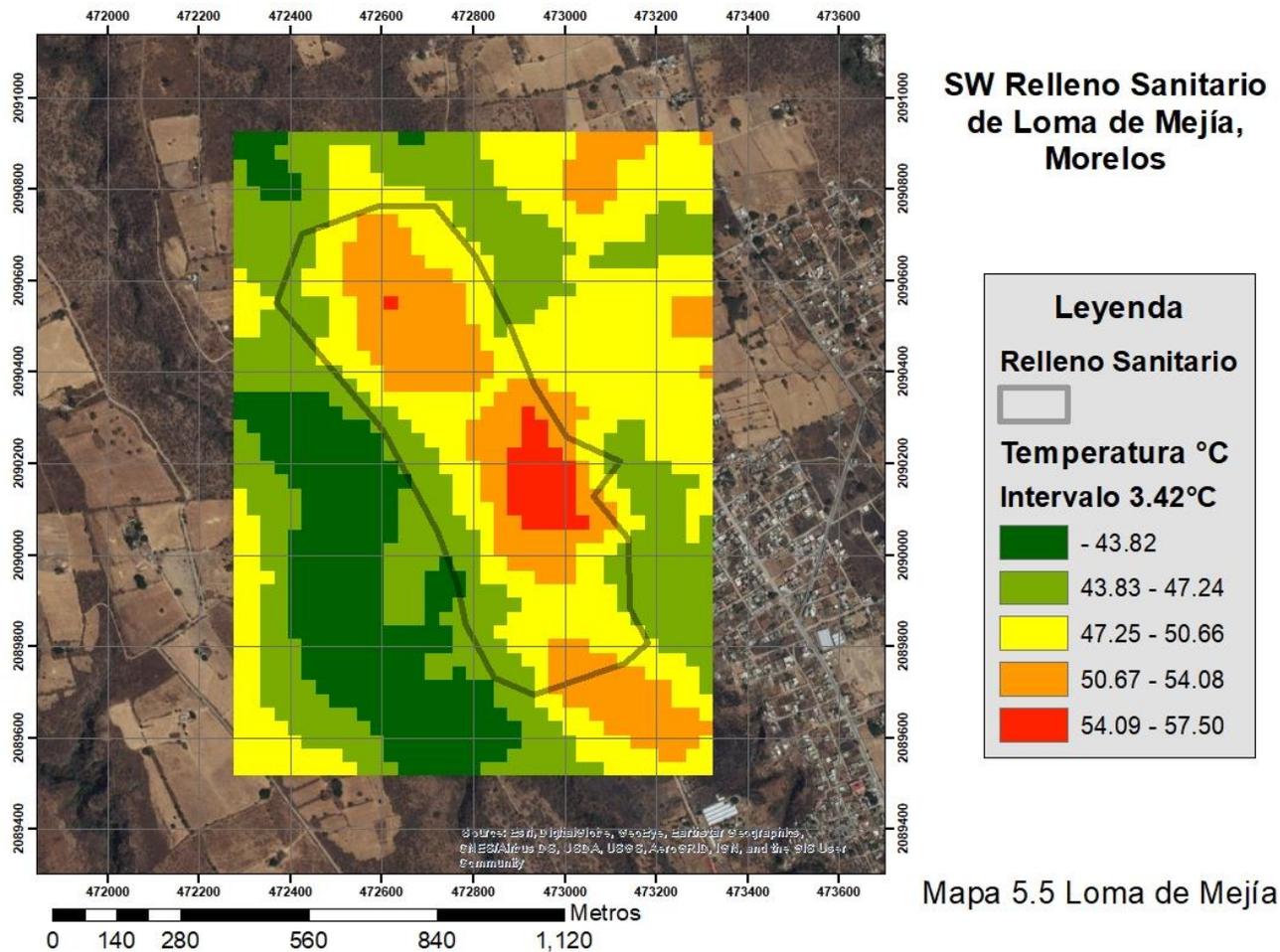


Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
26 de Mayo, 2017	Kantunilkin	28.58 °C

En el resultado del relleno sanitario de Cozumel podemos observar que la diferencia de temperaturas del relleno sanitario no es tan amplia, aun así, sigue siendo superior a la media tomada por la estación agrometeorológica para el día correspondiente.

En el mapa se aprecia notoriamente el cambio de temperatura dentro del área de lo que es el relleno sanitario de Cozumel, pero sin olvidar que el intervalo de temperatura es corto al ser apenas superior a un grado centígrado. Sería conveniente tener un registro de temperatura media más próximo a la ubicación del relleno, puesto que la distancia de éste caso es muy superior a los demás elementos del presente trabajo.

5.1.5 Relleno Sanitario de Cuernavaca SW

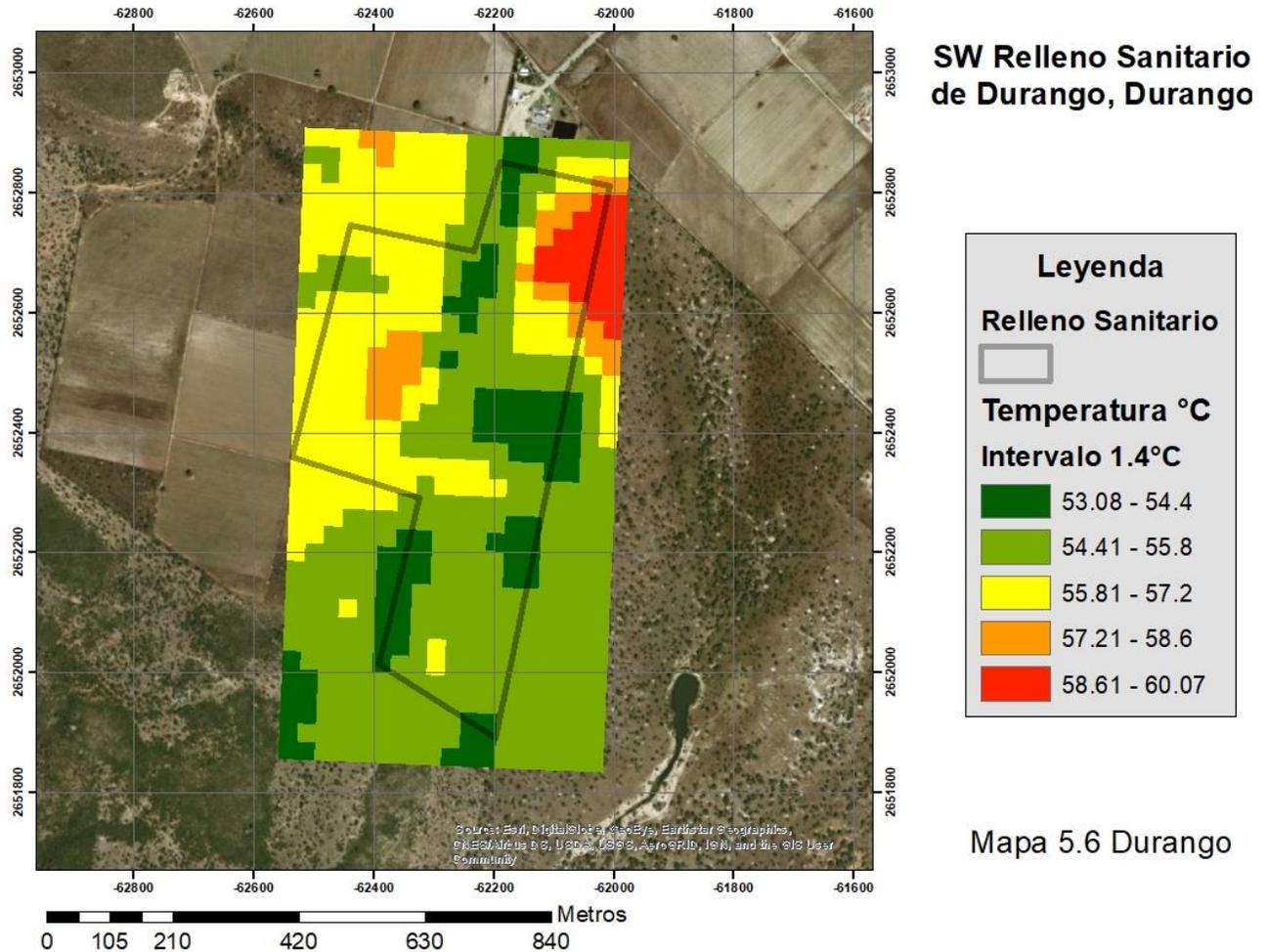


Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
25 de Mayo, 2017	Tetela del Monte	18.94 °C

En la información resultante de la temperatura superficial del relleno sanitario de Loma de Mejía se observa que es superior a la media tomada por la estación agrometeorológica de Tetela del Monte.

En este mapa se aprecia la concentración de calor superficial en una porción del terreno inusual, dando indicios de que no se genera de manera natural, es un buen ejemplo de la hipótesis positiva planteada al inicio de éste trabajo, ya que la mancha de calor cubre perfectamente el área del relleno sanitario monitoreado.

5.1.6 Relleno Sanitario de Durango SW

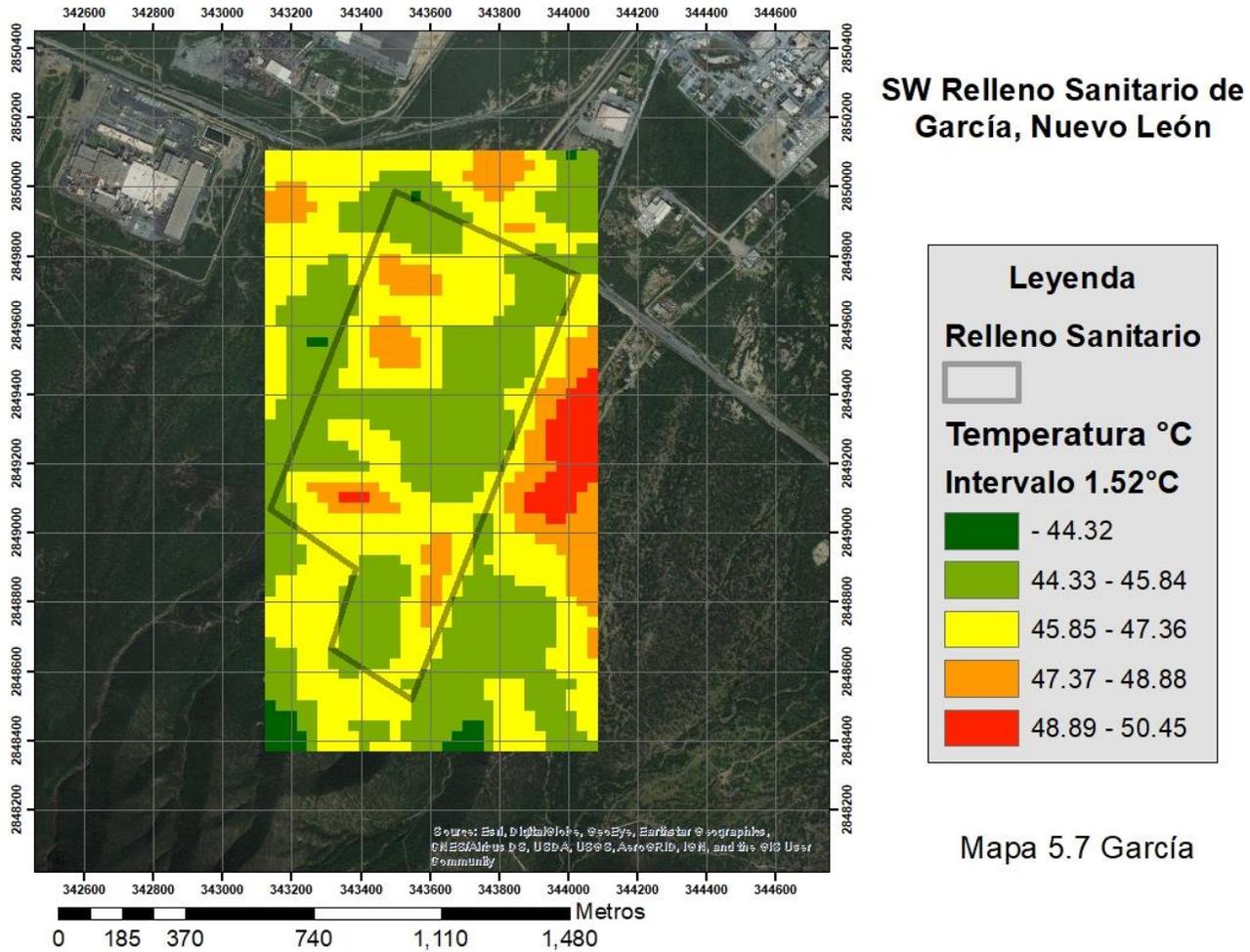


Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
15 de Junio, 2017	Valle Florido	26.49 °C

El mapa resultante del relleno sanitario de Durango puede ser malinterpretado gracias a que los colores parecen indicar una baja temperatura en la mayor parte del relleno, pero en la revisión de la leyenda esto es rápidamente corregido, ya que sobrepasa la temperatura media obtenida en el día, teniendo un rango de 53.8 – 60.07 °C; teniendo un aumento de temperatura de 33.58 °C por sobre la media establecida por la estación, se considera un estudio de caso positivo.

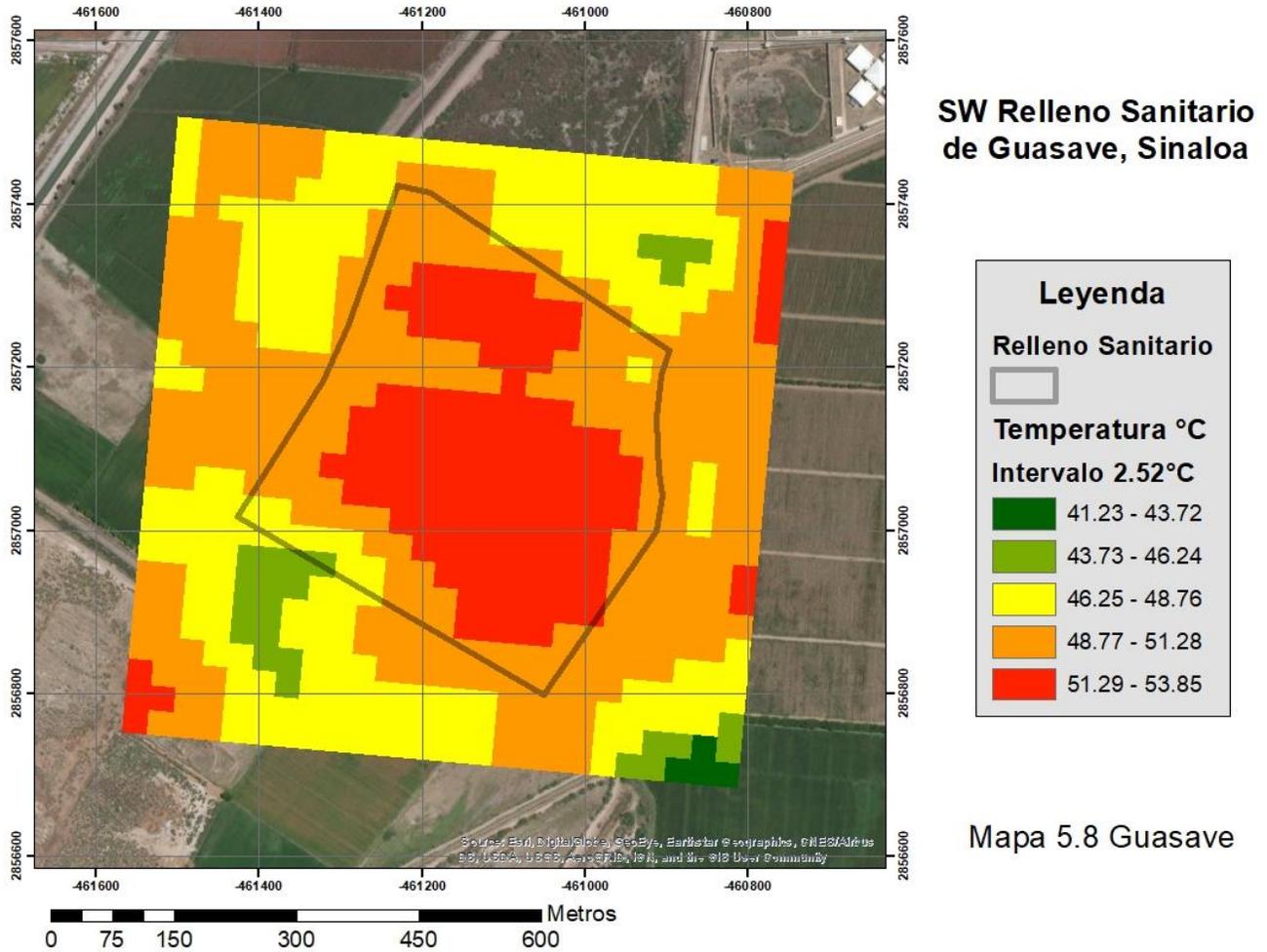
Cabe mencionar que no hay una clara diferenciación de concentración de calor dentro y fuera del área del relleno, lo que podría confundir la lectura del mapa.

5.1.7 Relleno Sanitario de García SW



Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
25 de Mayo, 2017	Rancho Roncesvalles	20.73 °C
<p>En la información resultante de la temperatura superficial del relleno sanitario de García, podemos apreciar que, igual que en los casos anteriores, es superior a la media tomada por la estación agrometeorológica de Rancho R. para el día correspondiente. Teniendo un rango de 44.33 – 50.45 °C dentro del área del relleno y un aumento de temperatura de hasta un 29.72 °C. Por lo cual se considera un caso de estudio positivo. Se observa en el mapa resultante la concentración de calor superficial en diferentes puntos del relleno, lo cual es evidente ya que la concentración de calor no se da por igual en toda el área del relleno, si no en las zonas que liberen más calor.</p>		

5.1.8 Relleno Sanitario de Guasave SW

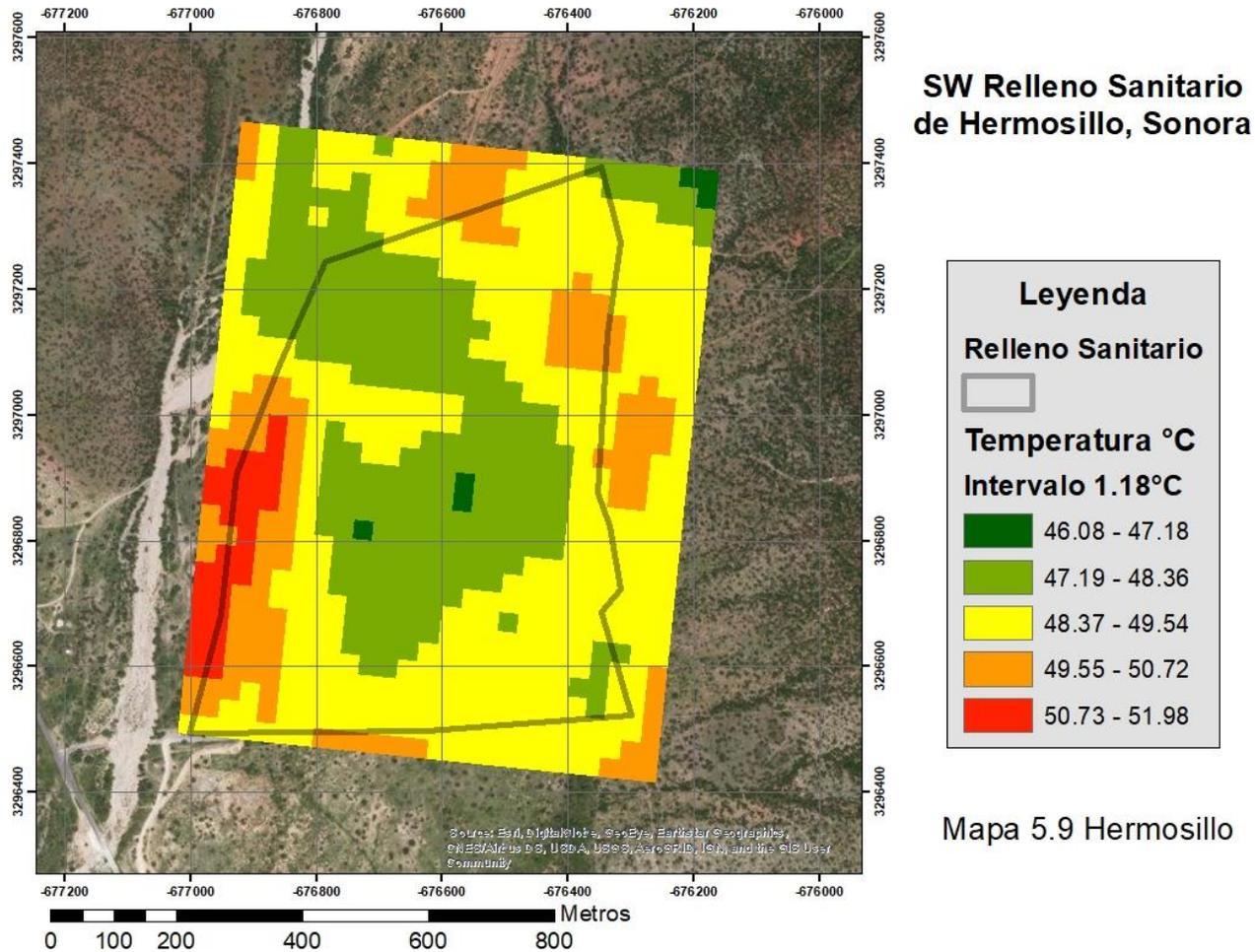


Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
15 de Junio, 2017	El Cubilete	28.05 °C

Para el caso de la temperatura superficial del relleno sanitario de Guasave, una vez más la temperatura del relleno sanitario es superior a la media registrada por la estación agrometeorológica para el día correspondiente. Teniendo un rango de 46.25 – 53.85 °C dentro del área del relleno, aportando un aumento de la temperatura de hasta 25.8 °C. Por lo cual se considera un caso de estudio positivo.

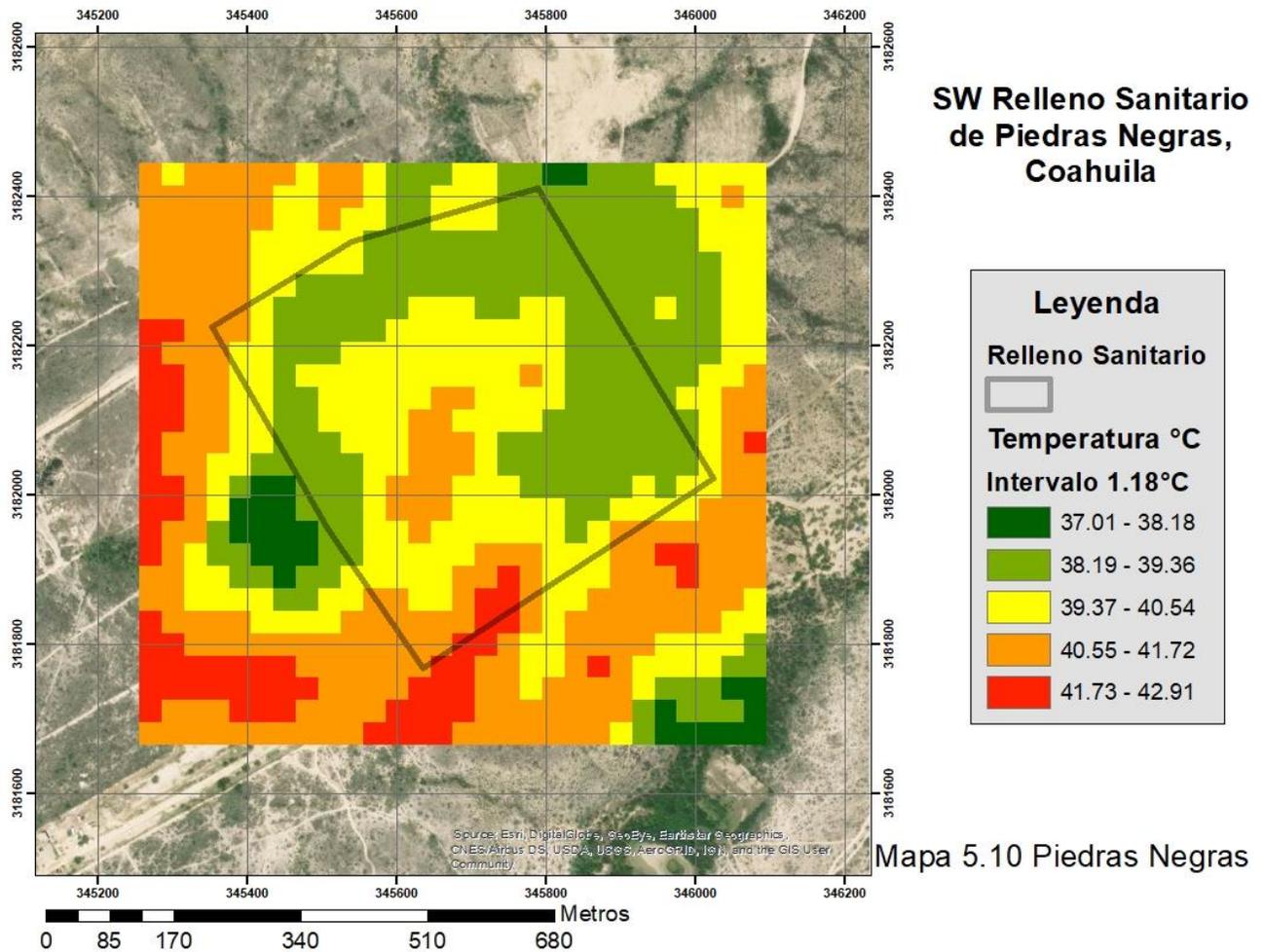
La concentración de calor dentro del relleno está muy bien delimitada a su área, dando por entendido que la emisión de mayor temperatura se da casi por igual en el relleno de Guasave.

5.1.9 Relleno Sanitario de Hermosillo SW



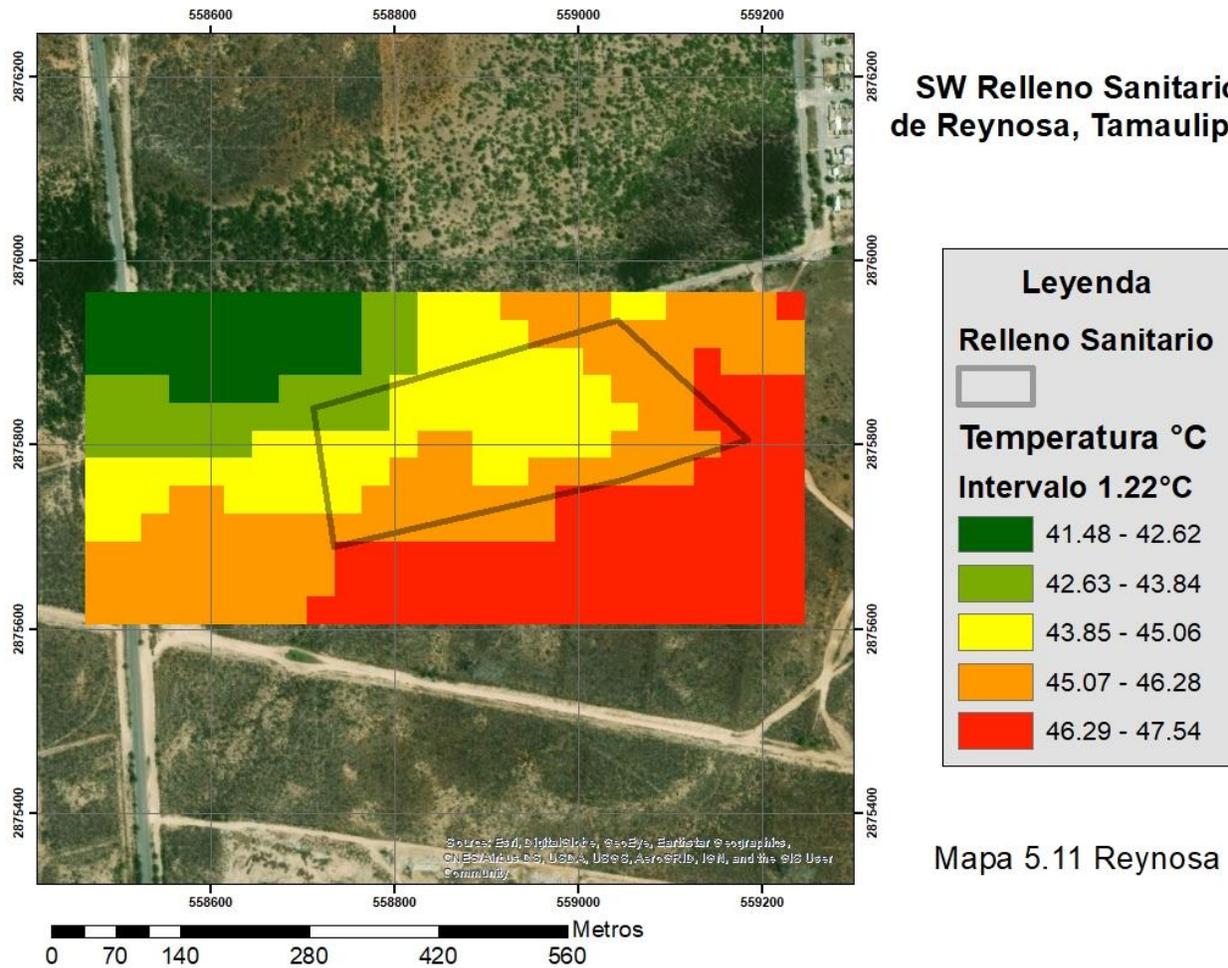
Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
25 de Mayo, 2017	Perico 2	27.34 °C
<p>El mapa resultante de la aplicación del algoritmo SW para el relleno sanitario de Hermosillo muestra una emisión de calor superficial dispersa comparándola con la temperatura media obtenida por la estación agrometeorológica para el día correspondiente. Teniendo un rango completo de 46.08 – 51.98 °C dentro del área del relleno, aportando un aumento de la temperatura de hasta 24.64 °C. Por lo cual se considera un caso de estudio positivo, pero, a diferencia de los demás rellenos, este en particular parece tener una menor temperatura dentro del RS, que fuera de él, aun así se toma en cuenta en la correlación de resultados.</p>		

5.1.10 Relleno Sanitario de Piedras Negras SW



Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
15 de Mayo, 2017	Campo Exp. Zaragoza	26.48 °C
<p>Para el mapa de la temperatura superficial del relleno sanitario de Piedras Negras tenemos que el calor superficial obtenido es superior a la media registrada por la estación agrometeorológica para el día correspondiente. Teniendo un rango de 38.19 – 42.91 °C dentro del área del relleno, aportando un aumento de la temperatura de hasta 16.43 °C. Por lo cual se considera un caso de estudio positivo.</p> <p>La emisión calorífica que se presenta en el mapa se concentra en el centro del área delimitada del relleno de Piedras Negras, lo que significa que es la porción de terreno más dinámica o con más actividad emisiva.</p>		

5.1.11 Relleno Sanitario de Reynosa SW

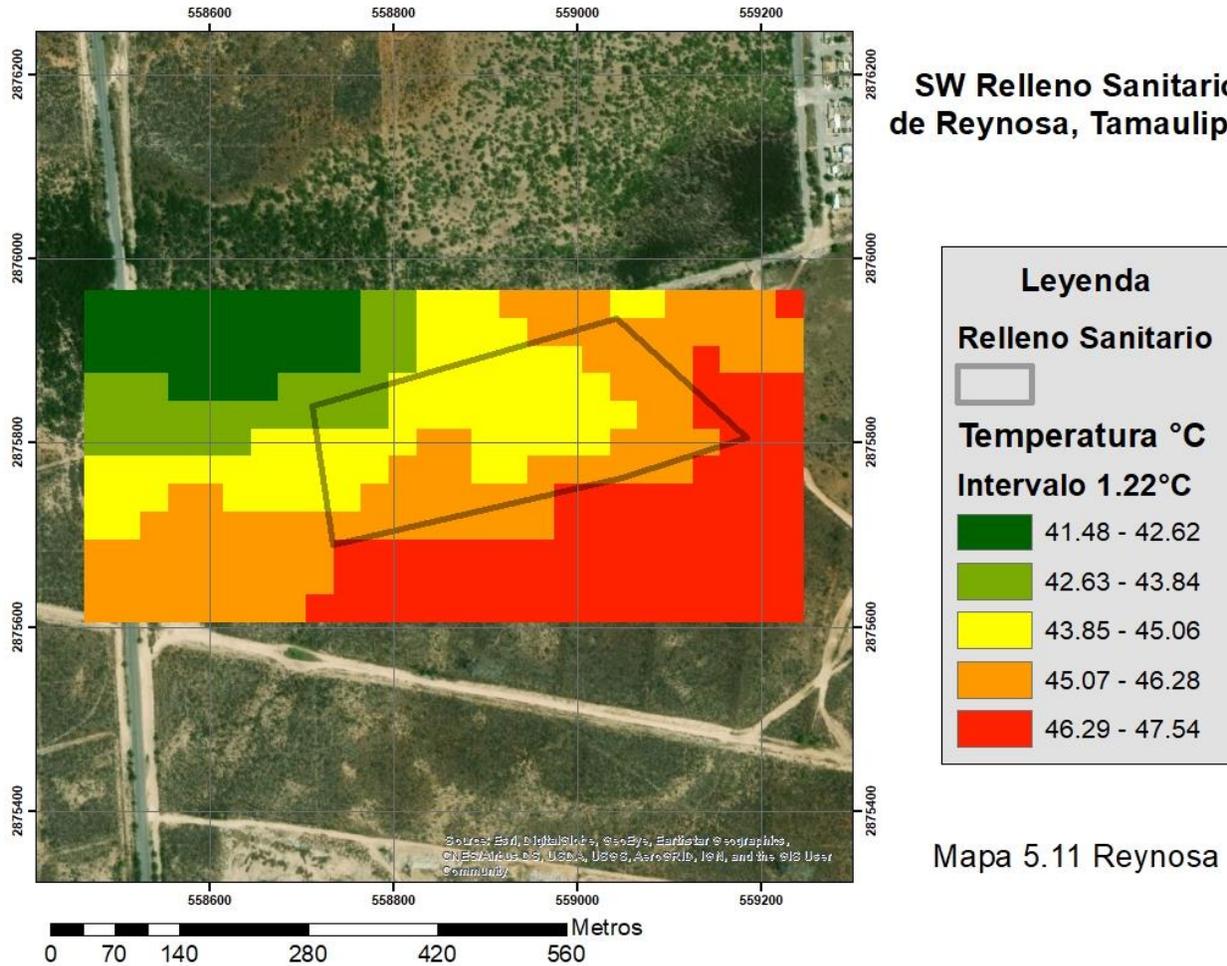


Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
15 de Mayo, 2017	Galeana	28.01 °C

Para el caso de la temperatura superficial del relleno sanitario de Reynosa, se tiene que la temperatura superficial del relleno sanitario es superior a la media registrada por la estación agrometeorológica más cercana para el día correspondiente. Teniendo un rango de 42.63 – 47.54 °C.

Dentro del área del relleno, aportando un aumento de la temperatura de hasta 19.53 °C. Por lo cual se considera un caso de estudio positivo.

5.1.12 Relleno Sanitario de Saltillo SW



Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
25 de Mayo, 2017	INIFAP Saltillo	28.82 °C

El mapa resultante del relleno sanitario de Saltillo es de los rellenos de menor área dónde los colores están bien definidos por los pixeles de la imagen y, parecen indicar una baja temperatura en la mayor parte del relleno, en la revisión de la leyenda esto es rápidamente corregido, ya que sobrepasa la temperatura media obtenida en el día, teniendo un rango completo de 48.77 – 52.49 °C; que sigue manteniéndose por sobre la media establecida por la estación, y por tanto se considera un estudio de caso positivo.

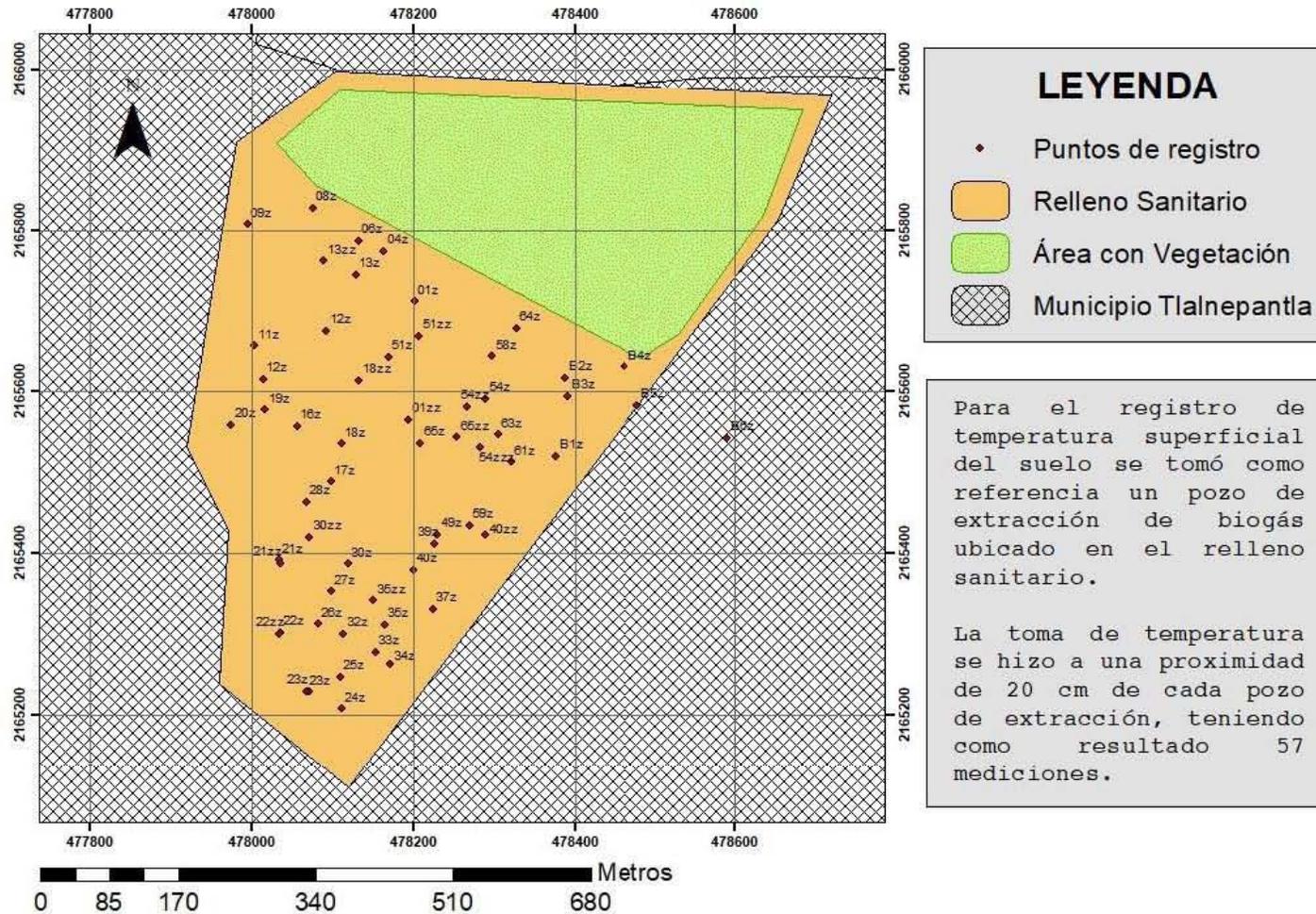
5.2 Datos de los resultados de la aplicación del algoritmo (SW) en los rellenos sanitarios de la República mexicana

Tabla 5.1

N°	Estado	Municipio	Fecha	Estación Agrometeorológica	Latitud	Longitud	Distancia al relleno sanitario	Temperatura promedio del día	Rango de temperatura en el relleno sanitario	Diferencia máxima de temperatura
1	Coahuila	Acuña	25-may-17	Acuña	29.322885	-100.979019	9.7	26.48	35.87 – 40.11	4.24
2	Sinaloa	Ahome	25-may-17	Ahome	25.78	-109.10	23	25.61	34.01 – 55.96	30.35
3	Nuevo León	Cadereyta Jiménez	25-may-17	Chihuahuita	25.233361	-99.801472	48	25.21	35.91 – 47.56	22.35
4	Quintana Roo	Cozumel	26-may-17	Kantunilkin	21.167	-87.48	100	28.58	31.33 – 36.68	8.1
5	Morelos	Loma de Mejía	25-may-17	Tetela del Monte	18.970611	-99.272055	8.2	18.94	40.44 – 57.5	38.56
6	Durango	Durango	15-jun-17	Valle Florido	23.845283	-104.45881	7.4	26.49	53.8 – 60.07	33.58
7	Nuevo León	García	25-may-17	Rancho Roncesvalles (Coahuila)	25.395583	-100.60591	40.1	20.73	44.33 – 50.45	29.72
8	Sinaloa	Guasave	15-jun-17	El Cubilete	25.517833	-108.49852	3.9	28.05	46.25 – 53.85	25.8
9	Sonora	Hermosillo	25-may-17	Perico 2	28.941944	-111.34666	44	27.34	46.08 – 51.98	24.64
14	Coahuila	Piedras Negras	15-may-17	Campo Exp. Zaragoza	28.598888	-100.91216	36.8	26.48	38.19 – 42.91	16.43
10	Tamaulipas	Reynosa	15-may-17	Galeana	25.913055	-98.321111	13.2	28.01	43.85 – 47.54	19.53
11	Coahuila	Saltillo	25-may-17	INIFAP Saltillo	25.34375	-101.03380	12.9	28.82	49.45 – 52.49	23.67
12	Estado de México	Tlalnepantla de Baz	03-ago-17	In situ	19.584841	-99.206729	0	37.64	34.71 – 45.8	8.16

5.2.1 Medición de temperatura superficial in situ

Registro de temperatura superficial en el Relleno Sanitario de Tlalnepantla de Baz



A continuación se muestra la clasificación utilizada para numerar los pozos de extracción de biogás con su respectiva coordenada y dato de temperatura (Tabla 5.1).

Tabla 5.2 Registro de toma de temperatura por puntos

PUNTO/POZO	COORDENADA X	COORDENADA Y	TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL SUELO (°C)
01z	478202	2165712	42.6
01zz	478194	2165566	36.4
04z	478164	2165774	35.9
06z	478133	2165787	36.2
08z	478076	2165827	35.5
09z	477995	2165807	33.5
11z	478003	2165657	30.4
12z	478015	2165616	36.1
12zz	478093	2165676	35.3
13z	478129	2165745	34.2
13zz	478089	2165762	35.6
16z	478057	2165558	39.4
17z	478099	2165489	38.0
18z	478111	2165536	34.3
18zz	478132	2165614	39.2
19z	478017	2165578	33.7
20z	477975	2165559	38.4
21z	478034	2165392	43.6
21zz	478036	2165388	42.2
22z	478036	2165302	42.6
22zz	478034	2165301	41.1
23z	478072	2165230	37.4
23z	478068	2165229	34.6
24z	478111	2165208	35.6
25z	478110	2165247	39.5
26z	478082	2165313	46.4
27z	478099	2165353	42.4
28z	478068	2165464	33.2
30z	478119	2165387	43.5
30zz	478072	2165420	42.2
32z	478114	2165301	33.6
33z	478153	2165278	43.1

34z	478172	2165264	43.5
35z	478165	2165312	40.8
35zz	478151	2165342	40.6
37z	478224	2165331	43.9
39z	478226	2165412	44.7
40z	478200	2165380	42.2
40zz	478289	2165423	43.2
49z	478230	2165424	41.6
51z	478170	2165643	42.1
51zz	478207	2165669	43.9
54z	478290	2165591	30.7
54zz	478267	2165582	35.2
54zzz	478283	2165532	33.5
58z	478298	2165644	48.8
59z	478270	2165435	38.2
61z	478322	2165513	29.5
63z	478305	2165547	32.8
64z	478328	2165679	40.3
65z	478209	2165537	35.7
65zz	478254	2165544	38.0
B1z	478377	2165520	32.8
B2z	478388	2165617	30.0
B3z	478391	2165595	31.6
B4z	478462	2165631	27.9
B5z	478479	2165583	29.4
B6z	478590	2165543	26.6

Fecha de Captura	Estación Agrometeorológica	Temperatura media del día
03 de Agosto, 2017	In Situ	37.64 °C

Para el estudio de caso del Relleno Sanitario de Tlalnepantla de Baz en el Estado de México, se aplicó la metodología del algoritmo SW como con los demás RS de la república mexicana y, teniendo los valores de TST se compararon los datos resultantes con las muestras de temperatura obtenidas de los 57 puntos de control cercanos a los pozos de extracción de biogás para el día 3 de Agosto del año 2017.

Para obtener una medida de comparación entre la temperatura medida en el RS y la información satelital se utilizó el "Error Cuadrático Medio".

5.4 El Error Cuadrático Medio

El error cuadrático medio (RMSE) es un modelo estadístico de estimación de datos continuos que nos permite calcular el grado de incertidumbre de un modelo. (Galeana, 2017) En pocas palabras nos permite medir la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos comparando un valor previsto o conocido y un valor estimado u observado.

La Fórmula que nos permite realizar tal comparación es la siguiente:

$$ECM = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Z_{(si)} - z_{(si)})^2}{n}}$$

Para calcular el RMSE o ECM se extrajeron los valores térmicos dados por el resultado de la metodología utilizada con el algoritmo SW y se compararon con los datos tomados en el RS para determinar el grado de incertidumbre del modelo (Tabla 5.2). Consiste en la raíz cuadrada de la sumatoria de los errores cuadráticos entre el número de muestras.

Tabla 5.4 Comprobación de RMSE

Punto	Valor Conocido IN SITU (°C)	Valor Estimado SW (°C)	Diferencia (°C)
01z	42.6	43.25	-0.65
01zz	36.4	43.25	-6.85
04z	35.9	43.25	-7.35
06z	36.2	43.25	-7.05
08z	35.5	37.7	-2.2
09z	33.5	37.7	-4.2
11z	30.4	37.7	-7.3
12z	36.1	37.7	-1.6
12zz	35.3	43.25	-7.95
13z	34.2	43.25	-9.05
13zz	35.6	43.25	-7.65
16z	39.4	37.7	1.7
17z	38	43.25	-5.25
18z	34.3	43.25	-8.95
18zz	39.2	43.25	-4.05
19z	33.7	37.7	-4
20z	38.4	37.7	0.7
21z	43.6	37.7	5.9
21zz	42.2	37.7	4.5
22z	42.6	37.7	4.9
22zz	41.1	37.7	3.4
23z	37.4	37.7	-0.3
23z	34.6	37.7	-3.1
24z	35.6	37.7	-2.1
25z	39.5	37.7	1.8
26z	46.4	37.7	8.7
27z	42.4	43.25	-0.85
28z	33.2	43.25	-10.05

30z	43.5	43.25	0.25
30zz	42.2	43.25	-1.05
32z	33.6	43.25	-9.65
33z	43.1	43.25	-0.15
34z	43.5	43.25	0.25
35z	40.8	43.25	-2.45
35zz	40.6	43.25	-2.65
37z	43.9	37.7	6.2
39z	44.7	43.25	1.45
40z	42.2	43.25	-1.05
40zz	43.2	37.7	5.5
49z	41.6	43.25	-1.65
51z	42.1	43.25	-1.15
51zz	43.9	43.25	0.65
54z	30.7	43.25	-12.55
54zz	35.2	43.25	-8.05
54zzz	33.5	43.25	-9.75
58z	48.8	43.25	5.55
59z	38.2	43.25	-5.05
61z	29.5	43.25	-13.75
63z	32.8	43.25	-10.45
64z	40.3	43.25	-2.95
65z	35.7	43.25	-7.55
65zz	38	43.25	-5.25
B1z	32.8	37.7	-4.9
B2z	30	37.7	-7.7
B3z	31.6	43.25	-11.65
B4z	27.9	37.7	-9.8
B5z	29.4	37.7	-8.3
B6z	26.6	43.25	-16.65

El resultado de nuestra estimación fue de "6.52846552" y como estamos utilizando medidas de temperatura este resultado va a estar dado en °C.

5.5 Consideraciones Finales

Después de obtener los resultados del comparativo entre el algoritmo SW y el ECM podemos asegurar que la correlación de datos es positiva, ahora bien, teniendo esta seguridad establecida, es adecuado mencionar que la aplicación del algoritmo SW para diferentes RS o áreas con estudios afines tienen grandes posibilidades para convertirse en una metodología recurrente para la detección de calor superficial con técnicas de PR, específicamente con las bandas TIRS de las imágenes satelitales de la serie Landsat-8.

Si bien la utilización de modelos estadísticos para medir el ECM arrojaron resultados alentadores, no son los completamente esperados, puesto que al obtener una cifra de 6.25 °C que en sí es baja, la media de los resultados conocidos ronda entre los 25 a 40 °C lo que significa que el modelo considera un error de 6°C a la hora de detectar la TST. Teniendo en cuenta los principios de la medición y representación del medio físico es muy poco probable idear una metodología que permita modelar las condiciones reales por completo por la enorme cantidad de variables existentes.

Sin embargo la precisión de la metodología utilizada puede ser perfeccionada al poseer la dicha de la prueba y el error, apoyándose en investigaciones afines en el campo de la PR al ser una ciencia interdisciplinaria, como por ejemplo la ponencia descrita con anterioridad en "estudios previos" provenientes de la Escuela de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente, Universidad Católica del Norte en Chile. Puesto a que su trabajo consistía en elaborar y aplicar una metodología de teledetección para el análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat-7 para el seguimiento y evaluación de la temperatura de superficie terrestre (LST) en vertederos en zonas áridas.

Si bien utilizan la misma serie de Landsat, hay un cambio en los satélites y en la detección de TST, ya que en ese trabajo hay una comparación multitemporal para un caso específico, mientras que en esta investigación es un caso in situ y la toma de datos de otros rellenos sanitarios en la misma temporalidad dónde tenemos mayor temperatura en el año para estandarizar los resultados en una sola vista en verano del 2017.

5.4 Conclusiones

A partir del estudio realizado queda demostrado que la hipótesis inicial es acertada ya que utilizando las imágenes satelitales de LANDSAT 8 ha sido posible detectar y monitorear el calor superficial en la atmósfera del Relleno Sanitario de Tlalnepantla de Baz, de igual manera explora el potencial de las imágenes Landsat 8 para estimar la TST mediante sus bandas TIRS. De acuerdo a los resultados obtenidos, la aplicación de la metodología en los diferentes rellenos sanitarios en México son, de igual manera, positivas para su detección remota.

La detección de calor superficial en el ambiente de los rellenos sanitarios nos da indicios de la liberación de gas metano propio de éstos, y en el capítulo primero se hace una mención de la caracterización de este gas que compone en su mayoría el gas de los pantanos o biogás lo que nos da cifras positivas de factibilidad en la utilización de imágenes satelitales en la detección y monitoreo de manera remota.

Dentro del modelo mexicano de biogás está la oportunidad de una estimación en la generación y recuperación de biogás tanto para implementación de nuevas investigaciones como para estimar la factibilidad de nuevos proyectos gracias a que el mismo modelo es alimentado por información dependiente de un usuario y datos constantes para México.

Si bien se ha demostrado que la PR es una herramienta eficaz para la detección de calor superficial, este trabajo propone nuevos parámetros en línea de la PR para difundir la importancia del estudio de técnicas para la mitigación del cambio climático y su continua actualización.

Bibliografía

- Andres, W. (Marzo de 2016). *Wilmer Cetina, Química*. Obtenido de http://wilmercetinaquimica.blogspot.mx/2016_03_01_archive.html
- Antoranz, J. C. (2009). *Curso básico de teledetección*. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Ariza, A. (2013). *Centro de Investigación y Desarrollo - CIAF*. Bogotá, Colombia: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.
- Armas, Y. Y. (Noviembre de 2005). *Estudio de la Evaluación de Impactos Ambientales que genera la construcción del RS de San Miguel de Ibarra*. Obtenido de Repositorio UTN: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwj0m_e-pfTeAhVPLKwKHe0AC5QQFjAAegQIBxAC&url=http%3A%2F%2F repositorio.utn.edu.ec%2F bitstream%2F123456789%2F830%2F5%2F03%2520REC%252061%2520PRESENTACION%25201.pdf&usg=AOvVaw0Desri3dES
- Ayuntamiento Constitucional de Tlalnepantla de Baz. (2016). *Atlas Municipal de Riesgos*. Estado de México, México: Gobierno Federal.
- Burbano, & G. (2006). *Cuerpo Negro*.
- Cardiel, G. G. (2010). *Determinación del impacto socioeconómico del acopio de residuos sólidos en Victoria de Durango, Durango*. Durango, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Castells, X. (2005). *TRATAMIENTO Y VALORACION ENERGETICA DE RESIDUOS*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental: La observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona, España: Ariel Ciencias.
- Comerón, C. (20 de Junio de 2017). *Trabajos biológicos realizados en la carrera*. Obtenido de Metano como fuente alternativa: <http://casiupa2.webcindario.com/metano.pdf>
- Department of the Interior U.S. Geological Survey. (2018). Program Report FY2000. LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK, Reston, Virginia, Estados Unidos.
- Ecured. (2 de Noviembre de 2018). Obtenido de https://www.ecured.cu/Fuerzas_de_Van_der_Waals?fbclid=IwAR3XkLCKTuZa-epEzJF5oIOcLKUEa8RYuf-FXa1wcl8hPWAIEGvBRozIXBg
- ENACC. (2007). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. México: ICCMEX.
- Escuela de Fotografía Spéos. (12 de Junio de 2017). *Maison de Nicéphore Niépce*. Obtenido de Niépce y la invención de la fotografía: <http://www.photo-museum.org/es/niepce-invencion-fotografia/>
- Estado de Coahuila. (Noviembre de 2017). *Sitios de disposición Final en el Estado de Coahuila de Zaragoza*. Obtenido de <https://www.sema.gob.mx/SGA-RELLENOS-RES.html>

- Estado de Sinaloa. (2016). *RDADyO-01.15*. Sinaloa, México: Secretaría de Desarrollo Social y Humano.
- European Commission. (10 de Julio de 2017). *Comprender los gases de efecto invernadero*. Obtenido de Change: https://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_es.pdf
- Fernández, J. L. (1997). *Energía a partir de la basura*. México: Boletín IIE.
- Figueroa, K. R. (2009). *A Robust Method for Estimating Landfill Methane Emissions*. Orlando, FL: University of Central Florida.
- Figueroa, V. H. (2010). *El Biogás, una alternativa energética*. Sonora, México: Universidad de Sonora, División de Ingeniería.
- Galeana, M. (20 de Julio de 2017). *Teledetección*. CDMX, CDMX, México.
- Global Methane Initiative. (12 de Abril de 2017). *Global Methane Initiative*. Obtenido de https://www.globalmethane.org/documents/events_land_20100817_conceptos_basicos_sobre_biogas.pdf
- Gobierno Estatal de Tamaulipas. (Noviembre de 2017). *Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos en Tamaulipas*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187446/Tamaulipas.pdf>
- Google. (2017). *Google Maps*.
- Hernández, F. M. (2015). *Producción de biogás con Suero de Queso*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Huerta, C. (22 de Octubre de 2006). *El relleno sanitario en Tlalnepantla es catalogado como empresa limpia*. pág. 1.
- ICMA. (2011). *EXPERIENCIAS EN PROYECTOS DE RECUPERACIÓN DE METANO DE RELLENOS SANITARIOS MUNICIPALES*. México: ICMA.
- IILSEN. (2004). *Nuevas Energías Renovables: Una Alternativa Energética Sustentable para México (Análisis y Propuesta)*. Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (5 de Julio de 2017). *Imágenes del territorio*. Obtenido de Imágenes de satélite: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/>
- Jiménez-Muñoz. (2014). *Land Surface Temperature Retrieval Methods From. IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, vol 11*.
- Khorram, S. &. (2012). *Remote Sensing. California,USA: Springer*. California, USA: Springer.
- León, Y. (12 de Junio de 2002). *Introducción a las Imágenes Satelitales*. Santo Domingo, República Dominicana: Tribunal superior de tierras. Obtenido de <http://percepcion-remota.intec.edu.do/Material%20de%20apoyo%20sensores%20remotos.pdf>

- Lozano, Á. (6 de Febrero de 2017). Relleno cuenta con el 67% disponible de su capacidad. *El Imparcial*.
- Martínez, J. (2005). *Percepción remota: Fundamentod de teledetección espacial*. México: CONAGUA.
- N. Sogari, y. A. (2012). Análisis de las propiedades físico químicas del biogás obtenido de la degradación anaeróbica de residuos orgánicos. *Universidad Nacional del Nordeste*, 5.
- OPRESA. (Noviembre de 2017). *OPERADORA DE RELLENOS SANITARIOS, S.A. DE C.V.* . Obtenido de <https://directorioempresarialmexico.com/empresa/0002956000/OPRESA/>
- Organisation Intergouvernementale de la Convention du Mètre. (2 de Noviembre de 2018). *Bipm*. Obtenido de https://www.bipm.org/utils/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf
- Ormeño, S. (2006). *Teledetección fundamental*. Madrid, España: Universidad politécnica de Madrid.
- Pérez, D. J. (2007). *Introducción a los sensores remotos, Aplicaciones en geología*. Buenos Aires, Argentina: Laboratorio de Tectónica Andina.
- PROFEPA. (Noviembre de 2017). *Calidad ambiental del servicio de recolección de residuos urbanos*. Obtenido de http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/4633/1/mx.wap/reconocio_la_profepa_la_calidad_ambiental_del_servicio_de_recoleccion_de_basura_y_el_relleno_sanitario_de_cozumel.html
- Promotora Ambiental del Sureste, S.A. de C.V. (Noviembre de 2017). *Manifestaciónn de Impacto Ambiental (PASA)*. Obtenido de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/nl/estudios/2006/19NL2006I0003.pdf>
- Reinhart, D. R. (1993). A review of recent studies on the sources of hazardous compounds emitted from solid waste landfills: a U.S. experience. Florida.
- REMBIO. (2006). *REMBIO*. Obtenido de Red Mexicana de Bioenergía: http://rembio.org.mx/?page_id=643
- Rodríguez, O. E. (2005). *Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicado en estudios de ingeniería civil*. Bogotá, Colombia: Pontífica Universidad Javeriana.
- Rodríguez, J. (2015). *Sistemas Multiespectrales e hiperespectrales para la observación del territorio. Análisis y aplicación a la prospección de hidrocarburos*. Madrid, España: Universidad politécnica de Madrid.
- Rodríguez, M. F. (2018). *La gestión de residuos en Tlalnepantla de Baz*. CDMX, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Sánchez, J. A. (2006). *INTRODUCCIÓN A LA FOTOGRAMETRÍA*. Madrid, España: E. T. S. I. Caminos, Canales y Puertos.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Problemática con RS Loma de Mejía*. Obtenido de <http://apps3.semarnat.gob.mx/consejos/wp-content/uploads/2016/01/Rec-3-Morelos.pdf>
- SEDESOL. (2006). *Manual para la operación de rellenos*. México, DF.: SEDESOL.
- SEMARNAT. (2012). *Informe de la Situación Actual del Medio Ambiente en México*. México: Gobierno.
- Sinaloa, G. M. (2017). *Tpitulo de Concesión*. Sinaloa, México: Gobierno Federal.
- Uli Werner, U. S. (1989). Biogas plants in animal . Federal Republic of Germany : Deutsches Zentrum für .
- USGS. (NOVIEMBRE de 2017). *USGS*. Obtenido de <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>
- Valéncia, U. d. (20 de Julio de 2017). *Radiaciones*. Obtenido de <http://www.uv.es/DSSQA/documentacion/castellano/PDF/14%20RADIACIONES.pdf>
- Vázquez, M. (2016). *Cálculo de la concentración de sedimentos en suspensión en el delta*. CDMX, México: UNAM.
- Veolia. (2014). *Veolia en México renueva el servicio de disposición final en el Relleno Sanitario*. Estado de México, México: Veolia.