



Programa: Doctorado en Ciencias Ambientales

**EVALUACIÓN SINÓPTICA DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SITIOS
DE DISPOSICIÓN FINAL EN ETAPA DE POSCLAUSURA**

T E S I S

**PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

Yuridia Azucena Salmerón Gallardo

Director

Dr. René Bernardo Elías Cabrera Cruz
Universidad Autónoma de Tamaulipas

Co-directora

Dra. Ana Laura Juárez López
Universidad Autónoma de Guerrero

Asesora

Dra. María Laura Sampedro Rosas
Universidad Autónoma de Guerrero

Asesor

Dr. José Luís Rosas Acevedo
Universidad Autónoma de Guerrero

Asesor

Dr. Julio César Rolón Aguilar
Universidad Autónoma de Tamaulipas

Acapulco, Guerrero, México; noviembre de 2016.

Universidad Autónoma de Guerrero
Unidad Académica de Ciencias de Desarrollo Regional

Programa: Doctorado en Ciencias Ambientales

**EVALUACIÓN SINÓPTICA DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SITIOS
DE DISPOSICIÓN FINAL EN ETAPA DE POSCLAUSURA**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

Yuridia Azucena Salmerón Gallardo

Director

Dr. René Bernardo Elías Cabrera Cruz
Universidad Autónoma de Tamaulipas

Co-directora

Dra. Ana Laura Juárez López
Universidad Autónoma de Guerrero

Asesora

Dra. María Laura Sampedro Rosas
Universidad Autónoma de Guerrero

Asesor

Dr. José Luís Rosas Acevedo
Universidad Autónoma de Guerrero

Asesor

Dr. Julio César Rolón Aguilar
Universidad Autónoma de Tamaulipas

Acapulco, Guerrero, México; noviembre de 2016.



UAGro UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Coordinación de Administración Escolar | Zona Sur

OFICIO No. 7925/08/11/2016/C.A.E.Z.S.

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE EXAMEN
DE GRADO DE DOCTOR.**

ACAPULCO, GRO., A 08 DE NOVIEMBRE DE 2016.

C. DR. JOSE LUIS ROSAS ACEVEDO
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE CIENCIAS DE DESARROLLO REGIONAL
DE LA UAGro.
PRESENTE.

CON BASE A LO ESTABLECIDO EN EL ARTÍCULO 81 INCISO a) DEL REGLAMENTO GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN VIGENTE, SE **AUTORIZA** LA APLICACIÓN DEL EXAMEN PROFESIONAL, MEDIANTE LA MODALIDAD DE TESIS TITULADA:

"EVALUACIÓN SINÓPTICA DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SITIOS DE DISPOSICIÓN EN FINAL EN ETAPA DE POSCLAUSURA."

AL (LA) C. **YURIDIA AZUCENA SALMERÓN GALLARDO**

PARA OBTENER EL GRADO DE: **DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

HABIENDO CURSADO SUS ESTUDIOS EN EL PERIODO: **2012 - 2016.**

EN VIRTUD DE HABER CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS DE REVISIÓN EXIGIDOS POR LA LEY EN ESTOS CASOS.

AGRADECERÉ A USTED, INFORMAR A ESTA COORDINACIÓN EL RESULTADO DEL EXAMEN, A MÁS TARDAR 15 DÍAS HÁBILES DESPUÉS DE EFECTUARLO.

SIN OTRO PARTICULAR, RECIBA UN CORDIAL SALUDO.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

ATENTAMENTE



M.A. CARLOS JESÚS SAAVEDRA SÁNCHEZ.

Administración 2013-2017
COORDINADOR

C.c.p. Unidad Académica
C.c.p. Interesado(a).
C.c.p. Archivo.
CJSS/mrar.

Administración 2013-2017
Niños Héroes #133
Col. Progreso, Cp. 39350
Tel: (744) 488 5943, (744) 488 0919
Correo electrónico: admonescolar_zs@uagro.mx
Acapulco de Juárez, Guerrero, Mexico



UAGro UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional

Acapulco, Gro., a 07 de Noviembre de 2016.

**M.A. CARLOS JESUS SAAVEDRA SANCHEZ
COORDINADOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DE LA ZONA SUR UAGro,
P R E S E N T E.**

Por medio del presente, le comunico que la C. YURIDIA AZUCENA SALMERON GALLARDÓ, de la generación (2012 - 2016) presentará su tesis titulada: "EVALUACIÓN SINÓPTICA DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EN ETAPA DE POSCLAUSURA." El cual a juicio de los revisores asignados por esta dirección, ha sido autorizada la impresión y por lo tanto ser sustentada ante un jurado calificador para obtener el grado de Doctorado en Ciencias Ambientales.

Esperando que la coordinación a su cargo autorice la presentación del examen, le reitero mi más atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE

**DR. JOSÉ LUIS ROSAS ACEVEDO
DIRECTOR UCDR**

UAGro
Unidad de Ciencias
de Desarrollo Regional

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO
UAGro
Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional
Administración 2013 - 2017

Pino s/n
Col. El Roble, C.P. 39040
Tel/Fax, 744 4878024, 4876004
Correo electrónico: unidad_cdr@uagro.mx
Acapulco de Juárez, Guerrero, México





UAGro UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional


Acapulco, Gro., noviembre 4 de 2016.

Dr. José Luis Rosas Acevedo
Director de la Unidad de Ciencias
de Desarrollo Regional
Universidad Autónoma de Guerrero.
Presente.

Por medio de la presente, le comunicamos que después de haber leído, analizado y revisado el trabajo de tesis titulado "*Evaluación sinóptica del impacto ambiental de sitios de disposición final en etapa de posclausura*", de la alumna *Yuridia Azucena Salmerón Gallardo* (matricula No. 12474591), consideramos reúne los requisitos de un trabajo de investigación doctoral, con base a ello, damos el consentimiento para su impresión, y se fije fecha para ser presentado y defendido ante el sinodo examinador, que como requisito parcial es necesario para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Ambientales.

Sin otro particular, le reiteramos nuestro respeto y consideración.

Atentamente


Dr. René Bernardo Elías Cabrera Cruz

Director de tesis


Dra. Ana Laura Juárez López
Co-directora

Asesores


Dra. María Laura Sampedro Rosas


Dr. José Luis Rosas Acevedo


Dr. Julio César Rolón Aguilar

Pino s/n
Col. El Roble, C.P 30040
Tel/Fax. 744 4870024, 4870004
Correo electrónico: unidad_cdr@uagro.mx
Acapulco de Juárez, Guerrero, México



AGRADECIMIENTOS

A la Unidad Académica de Ciencias de Desarrollo Regional, Universidad Autónoma de Guerrero.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

A la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

A la Dra. M. L. Sampedro Rosas; al Dr. J. C. Rolón Aguilar y al Dr. J. L. Rosas Acevedo, por el apoyo manifestado.

*A la Dra. A. L. Juárez López y al Dr. R. B. E. Cabrera Cruz; con gratitud y reconocimiento.
A S. Gallardo y P. Salmerón.*

ÍNDICE

Índice de tablas	ii
Índice de figuras	iv
Resumen	1
Abstract	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. ANTECEDENTES.....	6
2.1. Gestión integral de residuos sólidos urbanos.....	6
2.2. Marco normativo aplicable en materia de RSU	13
2.3. Evaluación de impacto ambiental en SDF.....	17
2.4. Huella de carbono en el manejo de RSU	20
2.5. Generación de biogás en SDF	22
III. JUSTIFICACIÓN.....	25
IV. OBJETIVOS.....	26
4.1. Objetivo general	26
4.2. Objetivos específicos.....	26
V. METODOLOGÍA.....	27
5.1. Análisis de métodos de EIA aplicados en SDF de RSU.....	28
5.2. Análisis de la normatividad en materia de RSU	29
5.3. Propuesta del modelo de EIA para SDF en etapa de posclausura	34
5.3.1. Determinación de la huella de carbono en el manejo de RSU.....	45
5.3.2. Generación de biogás en el SDF de RSU.....	47
5.3.3. Descripción de los factores ambientales de la zona de estudio.....	51
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
6.1. Análisis de métodos de EIA aplicados en SDF de RSU.....	55
6.2. Análisis de la normatividad en materia de RSU	60
6.3. Validación del modelo de EIA para SDF en posclausura	69
6.3.1. Determinación de la huella de carbono en el manejo de RSU.....	95
6.3.2. Generación de biogás en el SDF de RSU.....	101
6.3.3. Descripción de los factores ambientales de la zona de estudio.....	107
VII. CONCLUSIONES.....	122
VIII. RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS.....	125
IX. REFERENCIAS.....	126
X. ANEXOS.....	136

Índice de tablas

Tabla 1. Vectores de enfermedades por exposición a RSU.....	7
Tabla 2. Técnicas para el manejo de RSU en países no desarrollados.....	8
Tabla 3. Proyecciones de generación per cápita de RSU.....	9
Tabla 4. Comparación de costos por toneladas de RSU.....	10
Tabla 5. Situación del manejo y disposición final de RSU.....	11
Tabla 6. Clasificación y características de los residuos.....	11
Tabla 7. Principales atribuciones previstas en la LGPGIR.....	13
Tabla 8. Consideraciones generales de la legislación ambiental en materia de residuos.....	15
Tabla 9. Clasificación de impactos ambientales.....	18
Tabla 10. Métodos de identificación de impactos.....	19
Tabla 11. Sistema de valoración de impactos.....	20
Tabla 12. Criterios de evaluación para la matriz RIAM.....	31
Tabla 13. Rangos de banda para contrastar la puntuación ambiental.....	32
Tabla 14. Variables e indicadores de impacto.....	36
Tabla 15. Factor de ponderación de las variables seleccionadas.....	37
Tabla 16. Composición de lixiviados maduros.....	39
Tabla 17. Componentes del gas generado en SDF.....	41
Tabla 18. Valores por <i>default</i> para la composición de RSU y contenido de carbono para EBI.....	46
Tabla 19. Valor calorífico de fracciones de residuos.....	46
Tabla 20. Índice de degradación de residuos orgánicos.....	48
Tabla 21. Índice de generación de metano (<i>k</i>) (1/año).....	49
Tabla 22. Valores por default para la generación potencial de metano (<i>Lo</i>) (m ³ /ton).....	49
Tabla 23. Factor de corrección de metano (<i>MCF</i>).....	49
Tabla 24. Criterios de selección de imágenes Landsat-8.....	51
Tabla 25. Programas y equipos para el procesamiento y almacenamiento de datos geográficos.....	52
Tabla 26. Proceso de unión de bandas Landat-8.....	52
Tabla 27. Descripción de las bandas espectrales Landsat-8.....	52
Tabla 28. Composición de imágenes multiespectrales.....	53
Tabla 29. Guías para la interpretación de cartografía.....	54

Tabla 30. Etapas del estudio de evaluación de impacto ambiental.....	55
Tabla 31. Métodos de identificación y valoración de impactos.....	56
Tabla 32. Tendencia en la práctica de métodos de EIA aplicados en SDF de residuos.....	58
Tabla 33. Métodos de EIA empleados para la identificación y valoración de impactos.....	59
Tabla 34. Alternativas de mejora en el manejo de los RSU.....	61
Tabla 35. Indicadores ambientales y categorías para la evaluación rápida de impacto ambiental.....	61
Tabla 36. Integración matricial: A01. Separación de residuos y ampliación de recolección.....	62
Tabla 37. Integración matricial: A02. Construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales.....	62
Tabla 38. Integración matricial: A03. Construcción de plantas de compostaje, reciclaje y producción de biogás.....	63
Tabla 39. Integración matricial: A04. Plan de inversiones para el mejoramiento de equipos e infraestructura.....	63
Tabla 40. Integración matricial A05. Capacitación para el establecimiento del sistema de GIRSU.....	63
Tabla 41. Puntuación Ambiental A01.Separación de residuos y ampliación de recolección.....	64
Tabla 42. Puntuación ambiental A02. Construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales.....	65
Tabla 43. Puntuación ambiental A03. Construcción de plantas de compostaje, reciclaje y producción de biogás.....	66
Tabla 44. Puntuación ambiental A04. Plan de inversiones para el mejoramiento de equipos e infraestructura.....	66
Tabla 45. Puntuación ambiental 05. Capacitación para el establecimiento del sistema de GIRSU.....	67
Tabla 46. Puntuación ambiental total.....	68
Tabla 47. Concentración de contaminantes de lixiviados: Celda 0, SDF de Acapulco, Gro.....	71
Tabla 48. Índice de impacto del agua para SDF en posclausura: Celda 0, SDF de Acapulco, Gro.....	71
Tabla 49. Índice de impacto de aire para SDF en posclausura: Celda 0, SDF Acapulco; Gro.....	73
Tabla 50. Índice de impacto de flora y fauna para SDF en posclausura: Celda 0, SDF de Acapulco, Gro.....	73
Tabla 51. Índice de impacto socioeconómico de SDF en posclausura: Celda 0, SDF de Acapulco, Gro.....	74
Tabla 52. Matriz de impactos: Celda 0, SDF de Acapulco, Guerrero.....	75
Tabla 53. Tasa específica de generación de RSU en Acapulco, Guerrero.....	95
Tabla 54. Composición de los RSU y porcentaje de peso húmedo para EBI.....	95
Tabla 55. Emisiones de GEI en cargos, créditos y resultados netos (Status Quo).....	98
Tabla 56. Valores del índice de generación de metano (k) para el SDF de Acapulco, Gro.....	103
Tabla 57. Valores para la generación potencial de metano (L_0) del SDF de Acapulco, Guerrero.....	104
Tabla 58. Proyecciones de generación y recuperación de biogás del SDF de Acapulco, Guerrero.....	105
Tabla 59. Distribución de las bandas en los sensores OLI y TIRS.....	108
Tabla 60. Nomenclatura del producto de Nivel 1, LC80260482015178LGN00.....	109

Índice de figuras

Figura 1. Etapas del procesamiento de RSU.....	6
Figura 2. Medidas de minimización de RSU	7
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso metodológico general	27
Figura 4. Diagrama de flujo para el análisis de métodos de EIA aplicados en SDF	28
Figura 5. Diagrama del análisis de la normatividad en materia de RSU	30
Figura 6. Diagrama de flujo general para la evaluación del PEPGIR.....	32
Figura 7. Diagrama de flujo para la evaluación del PEPGIR, integración matricial.....	33
Figura 8. Diagrama de flujo para la evaluación del PEPGIR, criterios de evaluación	33
Figura 9. Diagrama de flujo para la evaluación del PEPGIR, rangos para contrastar la puntuación ambiental.....	34
Figura 10. Escala de afectación en UIAA.....	35
Figura 11. Curvas de puntuación subíndice para lixiviados	39
Figura 12. Diagrama de flujo para la aplicación del índice de impacto de agua de SDF en posclausura.....	40
Figura 13. Diagrama de flujo para la aplicación del índice de impacto de aire de SDF en posclausura.....	41
Figura 14. Diagrama de flujo para la aplicación del índice de flora y fauna de SDF en posclausura.....	42
Figura 15. Diagrama de flujo para la aplicación del índice socioeconómico de SDF en posclausura.....	44
Figura 16. Diagrama de flujo para la determinación de la HdC en el manejo de los RSU	47
Figura 17. Diagrama de flujo para la estimación de generación y recuperación de biogás	50
Figura 18. Diagrama de flujo para la descripción de factores ambientales a través de SIG	54
Figura 19. Puntuación ambiental A01. Separación de residuos y ampliación de recolección.	64
Figura 20. Puntuación ambiental A02. Construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales.....	65
Figura 21. Puntuación ambiental A03. Construcción de plantas de compostaje, reciclaje y producción de biogás.	66
Figura 22. Puntuación ambiental A04. Plan de inversiones para el mejoramiento de equipos e infraestructura...	67
Figura 23. Puntuación ambiental A05. Capacitación de la población y trabajadores para el establecimiento de la gestión integral de IRSU.	67
Figura 24. Puntuación ambiental total.....	68
Figura 25. Mapa de localización, Acapulco, Guerrero; México	76
Figura 26. Mapa topográfico del SDF de Acapulco, Guerrero; México	77
Figura 27. Mapa hidrológico de Acapulco, Guerrero.....	78
Figura 28. Mapa hidrológico RH19Ab..	79

Figura 29. Mapa hidrológico: Cuerpos de agua superficiales en el SDF	80
Figura 30. Imagen satelital del SDF de Acapulco, Guerrero	81
Figura 31. Imagen satelital del SDF de Acapulco, Guerrero	82
Figura 32. Mapa de fallas geológicas de Acapulco, Guerrero	83
Figura 33. Mapa de vegetación de Acapulco, Guerrero.....	84
Figura 34. Mapa de vegetación RH19Ab	85
Figura 35. Mapa de uso de suelo de Acapulco	86
Figura 36. Mapa de uso de suelo RH19Ab	87
Figura 37. Mapa de localidades de Acapulco, Guerrero	88
Figura 38. Mapa de localidades RH19Ab.....	89
Figura 39. Mapa de localidades cercanas al SDF de Acapulco, Guerrero.....	90
Figura 40. Mapa de vialidades de Acapulco, Guerrero	91
Figura 41. Mapa de vialidades cercanas al SDF de Acapulco, Guerrero.....	92
Figura 42. Representación del impacto ambiental en modelo de elevación digital.....	93
Figura 43. Representación del impacto ambiental en modelo de elevación digital 3D	94
Figura 44. Reciclaje y disposición de residuos que se generan en el municipio.....	96
Figura 45. Balance de emisiones de GEI (resultados de la herramienta MRS-GEI).....	98
Figura 46. Caracterización de RSU: datos específicos para el área de estudio, (resultados del MMB).	102
Figura 47. Proyecciones de disposición de RSU	102
Figura 48. Proyecciones de generación y recuperación de biogás del SDF	106
Figura 49. Imágenes Landsat-8 “color natural” o falso color, “térmicos” y “calidad”	108
Figura 50. Mapa de hidrología de Acapulco, Guerrero	113
Figura 51. Mapa climatológico de Acapulco, Guerrero	114
Figura 52. Mapa de temperatura de Acapulco, Guerrero.....	115
Figura 53. Mapa geológico de Acapulco, Guerrero.....	116
Figura 54. Mapa topográfico de Acapulco, Guerrero	117
Figura 55. Mapa edafológico de Acapulco, Guerrero.....	118
Figura 56. Mapa de degradación de suelos de Acapulco, Guerrero	119
Figura 57. Mapa de vegetación de Acapulco, Guerrero.....	120
Figura 58. Mapa de uso de suelo de Acapulco, Guerrero.....	121

Resumen

En México se desconoce el número de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos que se encuentran en etapa de posclausura (20 años después del término de vida útil); éstos deben ser monitoreados para evitar efectos adversos sobre la salud y el ambiente. Sin embargo, no existen herramientas para evaluar la etapa posterior al cierre; por lo tanto, se propone un modelo de evaluación de impacto ambiental para SDF en etapa de posclausura, basado en indicadores de los medios físico, paisajístico y socioeconómico evaluados a través de índices de agregación de elementos de impacto. La validación se realizó en la Celda 0, del SDF de Acapulco, Guerrero. El resultado se totaliza en unidades de impacto ambiental adimensional y se representa mediante técnicas asistidas de sistemas de información geográfica. La propuesta se desarrolla como un modelo metodológico indirecto, sinóptico, viable y factible de aplicarse en SDF de la República Mexicana.

Palabras clave: SDF, RSU, EIA, SIG, Posclausura.

Abstract

In Mexico, the number of landfills that are in post-closure (20 years after the end of useful life) is unknown; these should be monitored to avoid adverse effects on health and the environment. However, there are no tools to evaluate the post-closure phase; therefore, an environmental impact assessment model for post-closure landfills is proposed, based on indicators of the physical, landscape and socio-economic means evaluated through indexes of aggregation of impact elements. Validation was performed on Cell 0, from the landfill of Acapulco, Guerrero. The result is weighted in units of dimensionless environmental impact and is represented by assisted techniques of geographic information systems. The proposal is developed as an indirect methodological model, synoptic, feasible to be applied in landfills of the Mexican Republic.

Keywords: Landfills, MSW, EIA, GIS, Post-closure.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se propone un modelo de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para Sitios de Disposición Final (SDF) en etapa de posclausura. Este modelo constituye una aportación metodológica que permitirá evaluar SDF de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en etapa de posclausura.

En la primera parte del documento, se describen las principales etapas del manejo de los residuos, la normatividad aplicable, las principales atribuciones de acuerdo al orden de gobierno, y se plantean los impactos de los SDF sobre el ambiente y la salud en términos de la Huella de Carbono (HdC) y el potencial de generación de metano. Los SDF se diseñan para minimizar la contaminación; sin embargo, en la práctica no son una solución definitiva por la permanente e irreversible pérdida de suelo y vegetación, así como los daños que generan sobre los elementos ambientales y las afectaciones que representan para la salud pública.

En los países desarrollados los SDF se han declarado obsoletos; no obstante, en los países en vías de desarrollo y economías en transición se presentan como una tendencia de tratamiento para los residuos. Entre los años 1995 al 2011, el número de SDF en el país incrementó de 30 a 196, con una capacidad de almacenamiento total de 5.95 a 26.14 millones de toneladas de RSU. Los indicadores nacionales de generación estiman que en el año 2012 se generaron 102,895 toneladas diarias de RSU, el 61% se dispuso en SDF controlados, el 16% en tiraderos a cielo abierto y para el resto se reporta una disposición final desconocida (SEMARNAT, 2012).

Tras el término del ciclo de vida útil, los SDF deben ser controlados y evaluados hasta que ya no representen una amenaza sobre la salud y el ambiente. McDougall *et al.*, (2001) y Laner *et al.*, (2011) señalan que persisten afectaciones por más de 30 años y sugieren el monitoreo a largo plazo. En México se desconoce el número de SDF que se encuentran en la etapa subsiguiente del ciclo de vida útil; la NOM-083-SEMARNAT-2003 no contempla el seguimiento en la etapa posterior al cierre y no existen instrumentos para la evaluación y monitoreo.

Ante la problemática actual, se propone un modelo de Evaluación de Impacto Ambiental para Sitios de Disposición Final en Etapa de Posclausura (EIA_{SDFEP}), aplicando indicadores de los medios físico (biótico y abiótico), paisajístico y socioeconómico para evaluar los SDF de la República Mexicana que presentan 20 años de clausura. Seguidamente, se describen las etapas metodológicas de la investigación que integran el análisis de métodos de EIA aplicados en SDF de residuos, mediante el acopio de literatura científica procedente de bases de datos especializadas y el análisis de la normatividad en materia RSU a través de la evaluación del Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PEPGIR) desarrollado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Guerrero, utilizando la Evaluación Estratégica Ambiental (EEA) a través de métodos de análisis multicriterio como la Matriz Rápida de Evaluación de Impacto por sus siglas en inglés RIAM, desarrollada por Pastakia & Jensen, (1998).

La propuesta del modelo de EIA_{SDFEP} se diseña en cuatro pasos; el primero comprende la selección de indicadores e índices de evaluación aplicados a través de métodos indirectos; el segundo, consiste en otorgar valores de ponderación a los indicadores seleccionados por medio de criterios expertos colegiados; el siguiente paso consiste en la agregación mediante la aplicación de ecuaciones simples para la evaluación y la escala de gravedad del impacto. Se incluye el desarrollo de índices para la evaluación de impacto de los elementos ambientales que se ven directamente afectados por las actividades de disposición de los residuos, tomando como base los índices de contaminación de Kumar & Alappat, (2004); Meesa & Alappat, (2006) y Sharma *et al.*, (2008) que son modificados para la propuesta del modelo a fin de adaptar los valores y los criterios de información a las condiciones del país.

La representación de la EIA_{SDFEP} se establece en una escala de gravedad artificial a través de rangos de valoración de 0-1000 Unidades de Impacto Ambiental Adimensional ($UIAA$) donde un valor más alto indica una situación crítica y un valor menor indica una condición ambiental óptima, los rangos de valoración se asignaron en una sucesión colorimétrica de intensidad para visualizar la gravedad del impacto, mediante el uso de técnicas asistidas de Sistemas de información Geográfica (SIG).

La validación del modelo de EIA_{SDFEP} , se realizó en la Celda 0 del SDF de Acapulco de Juárez, Guerrero, México. Para la aplicación, se determinó la Huella de Carbono (HdC) en manejo de los RSU utilizando la Herramienta de Cálculo para las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Manejo de los Residuos Sólidos (Herramienta MRS-GEI), desarrollada por el Instituto de Investigación de Energía y Medio Ambiente de Alemania (IFEU, 2009); así mismo, se estimó el potencial de generación y recuperación de biogás del SDF con el Modelo Mexicano de Biogás (MMB), desarrollado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA, 2009); los valores obtenidos suministraron información para la aplicación de los índices.

Los resultados obtenidos con el modelo de EIA_{SDFEP} se procesan para la representación de datos espaciales generando cartografía especializada ex profeso para el área de estudio. Finalmente, se plantean las conclusiones con base en la obtención de los resultados de cada etapa metodológica, señalando que el modelo contiene indicadores de los medios físico (biótico y abiótico), paisajístico y socioeconómicos representativos de los elementos ambientales sobre los que se generan afectaciones. El modelo considera aspectos del marco normativo mexicano para los que existe disponibilidad de información.

La validación del modelo es factible, puede aplicarse de manera sinóptica y objetiva en casos de estudio reales para generalizar las condiciones del método y para constituir bases de datos sobre la disposición de los RSU, así como para someter a los SDF en etapa de posclausura en un proceso de monitoreo, a fin de proporcionar una línea base de investigación para la toma de decisiones en la selección y aplicación de medidas de mitigación. A partir de estas consideraciones se plantean algunas perspectivas y recomendaciones para la aplicación y mejora del modelo de EIA_{SDFEP} .

II. ANTECEDENTES

2.1. Gestión integral de residuos sólidos urbanos

En la ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), se define como residuo a cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarla nuevamente en el proceso que lo generó. Tchobanoglous *et al.*, (1994) indican que la gestión integral de residuos como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos; deberá considerar la reducción en el origen, reciclaje, incineración de residuos y disposición.

En la Figura 1, se muestran las etapas del procesamiento de los RSU propuesto por Jiménez-Cisneros, (2001) que incluye el control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, procesamiento y la disposición final de los residuos bajo criterios que tomen en cuenta la salud pública, la economía, la tecnología, la estética, la conservación y el uso eficiente de los recursos.

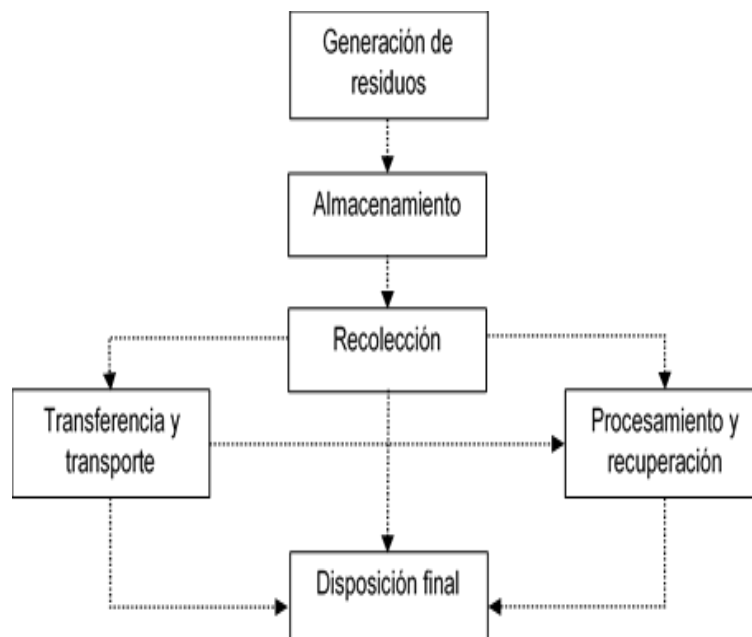


Figura 1. Etapas del procesamiento de RSU (Jiménez-Cisneros, 2001).

En la Figura 2, se muestra el proceso de gestión propuesto por Barradas, (1999); el proceso incluye la minimización de residuos en función de una jerarquización de medidas primarias, secundarias y terciarias que contienen la prevención y/o reducción de la generación de residuos en la fuente; la reducción de la peligrosidad de los residuos generados; la reutilización, el reciclaje, la recuperación de materiales y el tratamiento de los residuos.

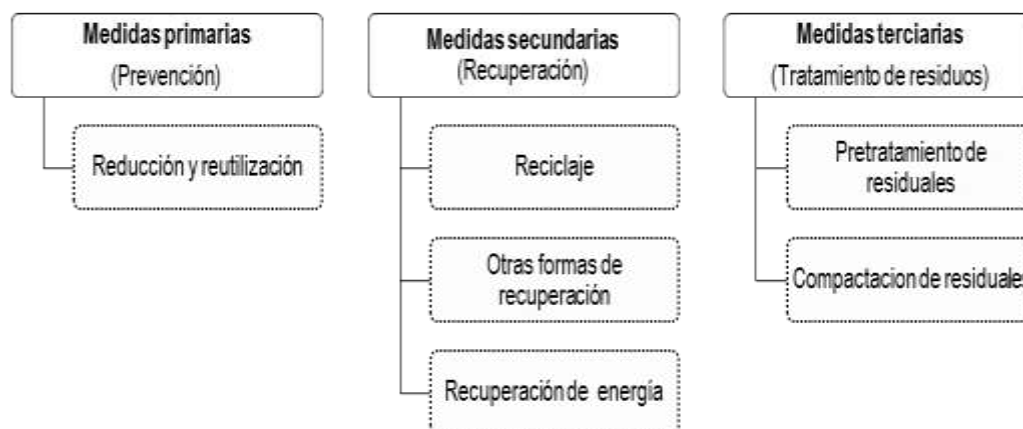


Figura 2. Medidas de minimización de RSU (Barradas, (1999).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), señalan el control de las enfermedades como un objetivo a cumplir en el manejo de los RSU debido a las enfermedades propagadas por vectores (transmisores de enfermedades). En la Tabla 1, se muestran los vectores y las enfermedades de factible transmisión determinadas en el análisis sectorial de residuos en la zona metropolitana del Valle de México.

Tabla 1. Vectores de enfermedades por exposición a RSU.

Vector	Enfermedad
Mosca común	Fiebre tifoidea, salmonelosis, shigelosis, disentería, diarrea infantil.
Cucaracha	Cólera, fiebre tifoidea, intoxicación alimenticia, disentería, infecciones intestinales, gastroenteritis.
Mosquitos	Paludismo, dengue, tripanosomiasis, encefalitis viral, fiebre amarilla.
Ratas	Peste bubónica, rabia, disentería, leptospirosis, enfermedades diarreicas, fiebre de Harverhi.

Fuente: (OPS-OMS, 1998).

El manejo sistemático de los RSU se inició en 1930, en Inglaterra. En la Tabla 2, se describen las técnicas con que se contaba en esa época, y que aún son utilizadas en los países no desarrollados.

Tabla 2. Técnicas para el manejo de RSU en países no desarrollados.

Técnica	Descripción
Disposición de RSU sobre el suelo	Son llamados basureros a cielo abierto, la aplicación es muy común debido a la facilidad para deshacerse de los RSU de una comunidad pero constituyen un foco de atracción para ratas, moscas, y otros insectos por ello, se realiza la quema de RSU en forma periódica.
Disposición en el agua	Esta práctica se realiza en las comunidades pequeñas y casi siempre situadas junto al mar.
Mezclado con el suelo	Se aplica a los residuos orgánicos agropecuarios y al barrido de calles. Se emplea poco ya que requiere grandes áreas de terreno y una separación previa de los desechos.
Alimento para animales	Se utiliza con desechos de alimentos y cuando el punto de generación se localiza cerca de las granjas porcinas. Esta práctica favorece la propagación de enfermedades como la triquinosis.
Recuperación de grasas y aceites	Se aplica sólo a cierto tipo de desecho y consiste en separar las porciones líquidas y sólidas para recuperar la grasa, con este material se fabrican pomadas, perfumería barata y grasa para vagones.

Fuente: (Jiménez-Cisneros, 2001).

Generación. La generación de residuos comprende las actividades en las que los materiales son identificados sin ningún valor adicional, son tirados o recogidos juntos para la deposición (Tchobanoglous *et al.*, 1994). La generación inicia cuando el consumidor decide que un producto se torna no deseable y/o sin utilidad para él, esto depende del criterio de cada individuo, las costumbres de la colectividad y la disponibilidad de recursos; se encuentra relacionada con el grado de desarrollo de una localidad, la conciencia sobre embalajes no necesarios, la densidad de población y el ingreso económico. La generación per cápita diaria en la zona urbana es de 1.070 kg/hab, en el área semiurbana es de 0.820 kg/hab y en el área rural es de 0.671 kg/hab. En 1985, el promedio nacional de generación de residuos era de 0.731 kg/hab por día de los cuales 70% eran de origen doméstico. Para 1994, la generación se incrementó a 0.893 kg/hab por día y pasó de ser densa a voluminosa (Jiménez-Cisneros, 2001).

Separación, almacenamiento y procesamiento de RSU en el origen. La separación involucra las actividades de manejo de residuos hasta que son colocados en contenedores de almacenamiento para la recogida. El lugar indicado para separar los residuos con la finalidad de reutilizarse y el reciclarse, es en el punto de generación para la clasificación del papel, periódico, cartón, botellas, residuos de jardinería, latas de aluminio y materiales férreos. El almacenamiento *in situ* también es importante para la salud pública y para la consideración estética; el procesamiento en el origen incluye la compactación y el compostaje de residuos orgánicos (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Jiménez-Cisneros, (2001) señala que el almacenamiento *in situ* se encuentra limitado por la disponibilidad de espacio y la descomposición de los residuos orgánicos ya que su duración no debe exceder de ocho días. En condominios y multifamiliares se dispone de un área común ex profeso (0.058 m³ por familia) para una tasa de generación máxima de 1 Kg/hab por día en una familia de cuatro personas y un tiempo máximo de almacenamiento de cinco días.

En el año 2004 la generación de RSU en México fue de 94,800 ton/diarias, equivalentes a 34.6 millones de ton/anuales (INE-SEMARNAT, 2006). En la Tabla 3, se muestran las proyecciones de generación de RSU y se observa que la generación per cápita creció de 300 gr/día en 1950 a 900 gr/día en 2004. Sin embargo, los rangos varían en función de la región del país, y la composición en función de la región. La población nacional en este periodo pasó de 30 millones a 105 millones de habitantes.

Tabla 3. Proyecciones de generación per cápita de RSU.

Año	Número de habitantes (miles)	Generación Kg/hab/día	Ton/diarias	Ton/anuales (miles)
2004	105,350	0.90	94,800	34,600
2005	106,452	0.91	96,900	35,370
2010	111,614	0.96	107,100	39,100
2015	116,345	1.01	117,500	42,890
2020	120,639	1.06	128,000	46,700

Fuente: (INE-SEMARNAT, 2006).

Recolección. La recolección de RSU incluye el transporte después de la recogida, al lugar donde se depositan de manera definitiva. Este lugar puede ser una instalación de procesamiento de materiales, una estación de transferencia o un SDF. En las grandes ciudades, donde la distancia desde el punto de recogida hasta el punto de disposición es de 20 kilómetros, se utilizan instalaciones de transferencia debido a que la distancia representa implicaciones económicas, casi el 50% del coste total anual de la gestión de los RSU (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

En México el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos se realiza a través de los municipios que también se encargan del servicio de transferencia, tratamiento y disposición. En la Tabla 4, se presenta una comparación de costos generados por las actividades del manejo de los RSU.

Tabla 4. Comparación de costos por toneladas de RSU.

Países	Recolección		Transferencia		Disposición		Total
	USD	%	USD	%	USD	%	
Desarrollados	50.0	64	3.5	5	24	31	77.5
En vías de desarrollo	13.0	64	2.5	12	5	24	20.5
México	34.0	68	7.81	16	7.81	16	49.6

Fuente: (Jiménez-Cisneros, 2001).

Transferencia y transporte. La transferencia tiene como propósito reducir el número de viajes a los SDF que generalmente se localizan fuera de la ciudad. El proceso consiste en pasar los RSU de unos camiones a otros de mayor capacidad; la transferencia también se puede realizar a través de trenes o barcos, según las características de cada lugar. Cuando las zonas de transferencia se ubican dentro de la ciudad se incorporan medidas para controlar el impacto ambiental y vial, como sistemas de captación de polvos, lavadores de malos olores, control de ruidos, fumigación de fauna nociva y un diseño arquitectónico adecuado para evitar tanto el congestionamiento de tránsito como el deterioro de la imagen urbana (Jiménez-Cisneros, 2001).

Procesamiento y recuperación. En esta etapa se incluyen todas las técnicas y el equipo que se emplean para recuperar materiales, mejorar la eficiencia de la disposición o favorecer la conversión de la basura. La selección del proceso depende de su costo, precio de venta, el mercado y la tecnología disponible (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Disposición. Es el destino último de todo residuo, la forma más común de disposición controlada es el relleno sanitario, que a diferencia de un basurero porque minimiza los problemas de salud pública y la contaminación de acuíferos a través de medidas de ingeniería. En la Tabla 5, se muestra la situación del manejo de los residuos en México; se recolecta el 70% de los residuos, el resto se tira en calles y lotes baldíos, o en basureros clandestinos, cauces de ríos, arroyos u otros cuerpos de agua. Los basureros a cielo abierto, originan afectaciones en el aire, agua y suelo, así como el deterioro de la salud de los habitantes por las emisiones de gases, malos olores, incendios, generación de lixiviados y proliferación de fauna nociva (Jiménez-Cisneros, 2001).

Tabla 5. Situación del manejo y disposición final de RSU.

Situación de manejo de RSU	Volumen/d	Porcentaje	Ton/anuales
Generación de residuos estimados	80,746		29,472
<i>Eficiencia:</i>			
Sistema de recolección	56,522	70%	20,631
Sistema de recolección de SDF	13,859	17%	5,059
Tiradero a cielo abierto	66,887	83%	24,414

Fuente: (Jiménez-Cisneros, 2001).

Clasificación de residuos. Los residuos que se originan dependen del uso de suelo y la localización del lugar. Existen diversas clasificaciones pero se considera aceptable las que plantea Tchobanoglous *et al.*, (1994). En la Tabla 6, se describen las instalaciones y actividades para la generación de residuos.

Tabla 6. Clasificación y características de los residuos.

Fuente	Lugar donde se generan	Tipo de residuo	Características
Residuos de alimentos	Viviendas, mercados, establecimiento de comidas	Son residuos de comida de tipo animal o vegetal que resultan del manejo, preparación y cocinado de alimentos	Se descomponen rápidamente, sobre todo en tiempo de calor generando mal olor y atrayendo fauna nociva
Residuos domésticos	Viviendas, mercados, establecimiento de comidas	Residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuos de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, cenizas, residuos especiales voluminosos, electrodomésticos, baterías, pilas, aceite, neumáticos	Estos residuos también se generan en unifamiliares y multifamiliares
Residuos comerciales	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, imprentas	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales	También se generan en gasolineras y talleres mecánicos
Residuos institucionales	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales.	
Residuos de construcción y demolición	Lugares nuevos de construcción, lugares de reparación/renovación de carreteras, derribos de edificios, pavimentos rotos	Madera, acero, hormigón, suciedad, piedras, concreto, ladrillos, varilla, restos de plomería y de instalaciones eléctricas	Proviene de la demolición o remodelación de edificios o casas.
Residuos municipales	Limpieza de calles, paisajismo, limpieza de cuencas, parques y playas, otras zonas de recreo	Residuos especiales, barreduras de la calle, recortes de árboles y plantas, residuos de cuencas, residuos generales de parques, playas y zonas de recreo	Proviene tanto de zonas residenciales como comerciales. Presenta dos tipos de materiales: combustibles como el papel, cartón, plástico, textiles, cuero, madera, hojarasca y mobiliario y no

Cenizas y residuos	Es el material remanente de la combustión	Es el material remanente de la combustión	combustibles como el vidrio, loza, latas y metales Por lo general son sólidos de tamaño muy pequeño.
Residuos no específicos	Son residuos de la limpieza de calles, carreteras u otras zonas abiertas al público	Contienen desechos muy variados como animales muertos, vehículos abandonados, entre otros	Su control es muy difícil ya que no se puede predecir su localización ni la naturaleza del desecho
Residuos de plantas de tratamiento	Agua residuales y procesos de tratamiento industrial	Residuos de planta de tratamiento, compuestos principalmente de fangos	Son los lodos generados al separar los contaminantes del agua en plantas de tratamiento. Doméstica
Residuos sólidos urbanos	Todos los citados	Todos los citados	Todos los citados
Residuos industriales	Construcción, fabricación ligera y pesada, refinerías, plantas químicas, centrales térmicas, demolición.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, y no industriales incluyendo residuos de comida, basura, cenizas, de demolición y construcción, especiales y peligrosos	Son desechos que no tienen uso dentro de la industria y que por su no peligrosidad son desechados junto con los residuos municipales
Residuos agropecuarios	Cosechas de campo, árboles frutales, viñedos, ganadería intensiva, granjas	Residuos de comida, residuos agrícolas, basura, residuos peligrosos	Incluyen tanto los residuos de la producción de vegetales y fruta como los de la cría de ganado. No dependen de la municipalidad y llegan a constituir problemas ambientales, como los desechos porcinos
Residuos no domiciliarios	Son los residuos que no se generan dentro de las casas habitación diariamente pero que son de origen municipal	Desechos de la poda de árboles, siempre y cuando se entregue en trozos, envases y embalajes generados en locales comerciales, residuos producidos en establecimientos de servicios, comercios e industrias, siempre y cuando no sean de tipo peligroso	Residuos de bares, restaurantes y demás establecimientos donde expendan productos alimenticios, residuos producidos en hoteles, hospitales, clínicas, escuelas y otros establecimientos públicos, muebles, enseres, domésticos, trastos viejos y "triques" en general, animales domésticos muertos de peso inferior a los 80 kg, vehículos fuera de uso y abandonados
Residuos especiales	Hospitales	Residuos hospitalarios	Los que por su origen y características, claramente identificadas, requieren condiciones especiales de manejo

Fuente: (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

La gestión de residuos se presenta como una preocupación debido al aumento de la población, la urbanización y el desarrollo económico; representa más del 8% de los

GEI no relacionados con la energía, y el 2% del total de las emisiones netas de CO₂-eq. En las últimas décadas, los países desarrollados han implementado alternativas tecnológicas, instrumentos económicos y marcos regulatorios pero estos cambios dieron lugar a diversos impactos ambientales, económicos, sociales y normativos que no sólo complican el análisis de la política regional, sino también remodelan el paradigma del desarrollo sostenible a nivel mundial (Pires *et al.*, 2011).

2.2. Marco normativo aplicable en materia de RSU

El artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos otorga el poder al municipio para manejar de forma autónoma los residuos. Las autoridades municipales tienen a su cargo las funciones y servicios públicos de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos. La Tabla 7, presenta las atribuciones marcadas en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) que tienen a su cargo los municipios en el proceso de la gestión integral de RSU, las funciones que corresponden al gobierno del Distrito Federal, las funciones que competen a la Federación y las funciones de los gobiernos de las Entidades Federativas.

Tabla 7. Principales atribuciones previstas en la LGPGIR.

Tipo de residuos	Orden de gobierno	Atribuciones marcadas en la LGPGIR
Residuos sólidos urbanos	Municipio	<ul style="list-style-type: none"> . Están a su cargo las funciones de manejo integral de los RSU. . Formular los programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos. . Emitir reglamentos y otras disposiciones jurídico-administrativas de observancia general, dentro de sus jurisdicciones, relacionados con los residuos. . Controlar los residuos sólidos urbanos. . Prestar el servicio público de manejo integral de RSU (antes conocido como servicio público de limpia). . Otorgar autorizaciones y concesiones del manejo integral de RSU. . Establecer y actualizar el registro de grandes generadores de RSU. . Verificar el cumplimiento de la ley e imponer sanciones.

Residuos de manejo especial	Entidad Federativa D.F.	<ul style="list-style-type: none"> . Elaborar los programas estatales en materia de Residuos de Manejo Especial (RME). . Expedir los ordenamientos jurídicos en materia de manejo de RME. . Autorizar el manejo integral de los RME dentro de su territorio, que puedan estar sujetos a planes de manejo. . Verificar el cumplimiento de la ley, imponer sanciones y medidas de seguridad en materia de RME. . Promover la creación de infraestructura para el manejo integral de los RSU y los RME. . Promover programas municipales de prevención y gestión integral de RME y RSU. . Coadyuvar con la federación a la integración de un sistema de información nacional sobre la gestión de residuos. . Regular y establecer las bases para el cobro de la prestación del servicio de manejo integral de los RME. . Someter a consideración de la SEMARNAT los programas para el establecimiento de sistemas de gestión integral de RME, así como la construcción y operación de rellenos sanitarios. . Elaborar el programa nacional para la prevención y gestión integral de Residuos Peligrosos (RP), RME y RSU. . Expedir reglamentos, normas oficiales mexicanas y otras disposiciones jurídicas para regular el manejo integral de los RP, RME y RSU. . Expedir normas oficiales mexicanas para establecer los residuos sujetos a planes de manejo. . Regulación y control de los RP. 		
		Federación	<ul style="list-style-type: none"> . Regular aspectos ambientales referentes al transporte de los RP, importación o exportación de los mismos en territorio nacional. . Verificar el cumplimiento de la normatividad, imponer medidas de seguridad y sanciones. . Celebrar convenios con entidades federativas para autorizar y controlar los RP de microgeneradores y brindar asistencia técnica. . Autorizar el manejo integral de los RP. . Establecer y operar el sistema nacional de protección civil, en coordinación con entidades federativas y municipios para la prevención y control de contingencias y emergencias ambientales relacionadas con los RP. 	
			Municipio Entidad Federativa	<ul style="list-style-type: none"> . Participar en el control de los RP de los microgeneradores.
				<ul style="list-style-type: none"> . Autorizar y llevar el control de los RP de los microgeneradores.

Fuente: (SEMARNAT, 2004a); (SEMARNAT, 2013).

En la Tabla 8, se describen las consideraciones generales de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Salud, la Ley General del Equilibrio

Ecológico y la Protección al Ambiente, así como las Normas Oficiales Mexicanas, las Normas Mexicanas, la Constitución Política Estatal, la Ley Estatal de Protección al Ambiente, las Normas Técnicas Estatales, la Ley Orgánica del Municipio Libre, el Bando de Policía y Buen Gobierno, y el Reglamento de Limpia que sustentan la gestión integral de los residuos en México.

Tabla 8. Consideraciones generales de la legislación ambiental en materia de residuos.

Ordenamiento	Descripción
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	La constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, en el artículo 115, Fracción III señala que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos.
Ley General de Salud	<p>La ley general de salud en el capítulo IV, artículo 116, señala que las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán las medidas y realizarán las actividades tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente. En el artículo 118, fracción IV establece las disposiciones relacionadas con el servicio público de limpia para promover y apoyar el saneamiento básico, a fin de la proteger la salud humana.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="496 898 1425 993">• Artículo 5, Fracción VI. Señala que son facultades de la Federación la regulación y el control de las actividades consideradas como altamente riesgosas, y de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente. <li data-bbox="496 1014 1425 1150">• Artículo 7, Fracción VI. Corresponde a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en las leyes locales en la materia, la regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos. <li data-bbox="496 1171 1425 1297">• Artículo 8, Fracción IV. Corresponden a los Municipios la aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos.
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="496 1318 1425 1591">• Artículo 15. Para la formulación y conducción de la política ambiental, la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en la LGEEPA, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente se considerará el principio de quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique. Asimismo, debe incentivarse a quien proteja el ambiente, promueva o realice acciones de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático. <li data-bbox="496 1612 1425 1801">• Artículo 134, Fracción II. Para la prevención y control de la contaminación del suelo deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos. El mismo artículo en la Fracción III señala que es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes. <li data-bbox="496 1822 1425 1883">• Artículo 135, Fracción II. Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran en la operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos

municipales en rellenos sanitarios y Fracción III, la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen.

- Artículo 136. Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar la contaminación del suelo; las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos; las alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación, riesgos y problemas de salud.
- Artículo 137. Queda sujeto a la autorización de los Municipios o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales. La Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.
- Artículo 138. La Secretaría promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para la implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales; y la identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadoras.
- Artículo 140. La generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a lo que se establezca en las normas oficiales mexicanas que al respecto expida la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Economía.
- Artículo 142.- En ningún caso podrá autorizarse la importación de residuos para su derrame, depósito, confinamiento, almacenamiento, incineración o cualquier tratamiento para su destrucción o disposición final en el territorio nacional o en las zonas en las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Normas Oficiales
Mexicanas

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos.

Se relacionan con la determinación de la generación y composición de los residuos sólidos municipales y las determinaciones en laboratorio de diferentes componentes.

Normas Mexicanas

- NMX-AA-016-1984. Norma Mexicana. Protección al Ambiente. Contaminación del suelo. Residuos sólidos municipales. Determinación de Humedad.
- NMX-AA-025-1984. Norma Mexicana. Protección al Ambiente. Contaminación del suelo. Residuos sólidos municipales. Determinación de pH. Método potenciométrico.
- NMX-AA-015-1985. Norma Mexicana. Protección al Ambiente. Contaminación del suelo. Residuos Sólidos Municipales. Muestreo. Método de Cuarteo.
- NMX-AA-019-1985. Norma Mexicana. Protección al Ambiente. Contaminación del suelo. Residuos Sólidos Municipales. Peso volumétrico "In situ".
- NMX-AA-021-1985. Norma Mexicana. Protección al ambiente. Contaminación del suelo. Residuos Sólidos Municipales. Determinación de materia orgánica.
- NMX-AA-022-1985. Norma Mexicana. Protección al ambiente. Contaminación del suelo. Residuos sólidos municipales. Selección y cuantificación de productos.

	<ul style="list-style-type: none"> · NMX-AA-061-1985. Norma Mexicana. Protección al ambiente. Contaminación del suelo. Residuos sólidos municipales. Determinación de la generación. · NMX-AA-067-1985. Norma Mexicana. Protección al ambiente. Contaminación del suelo. Residuos Sólidos Municipales. Determinación de la relación Carbono/Nitrógeno.
Constitución Política Estatal	Dentro de los artículos referentes a los municipios se mencionan las facultades que tienen los ayuntamientos para prestar el servicio de limpia pública.
Ley Estatal de Protección al Ambiente	Establece disposiciones de observancia obligatoria para cada estado, teniendo como objetivo la prevención, preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como los fundamentos para el manejo y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos.
Normas Técnicas Estatales	La Ley Estatal de Protección al Ambiente puede considerar la elaboración de normas técnicas estatales obligatorias.
Ley Orgánica del Municipio Libre	Establecen las atribuciones de los ayuntamientos para nombrar las comisiones que atiendan los servicios públicos.
Bando de Policía y Buen Gobierno	Plantean el conjunto de normas y disposiciones que regulan el funcionamiento de la administración pública municipal.
Reglamento de Limpia	El reglamento regula específicamente los aspectos administrativos, técnicos, jurídicos y ambientales para la prestación del servicio de limpia pública.

Fuente: (SEMARNAT, 2004a); (SEMARNAT, 2013).

2.3. Evaluación de impacto ambiental en SDF

Las últimas décadas han sido una creciente preocupación por los efectos nocivos de las actividades sobre el ambiente, esto ha llevado a una progresiva demanda para la medición de impactos ambientales; la evaluación de impacto ambiental es, por lo tanto, cada vez más necesaria en el mundo. Ante esta problemática se plantean puntos de encuentro entre las dimensiones ecológicas y económicas así como instrumentos regulatorios de orden y control como normas, leyes y la evaluación de impacto ambiental (Cabrera, 2004). La EIA ha sido utilizada a nivel mundial desde su creación en los Estados Unidos en 1970 como un procedimiento utilizado para formular decisiones que sirve como una guía ordenada, replicable y multidisciplinar de posibles impactos ambientales, culturales, sociales, y económicos, así como futuras alternativas de mitigación razonables. No obstante; Mohan *et al.*, (2015) señalan que en algunos casos no es más que retórica porque carece de directrices y supervisión; en otros casos, se realizan adecuaciones para corregir defectos y mantener la calidad y el rigor aceptados, considerando la importancia en la elaboración de directrices para cada sector y la utilización de métodos alternativos más apropiados para las condiciones locales.

Clasificación de impactos ambientales. Español, (1995) define el impacto ambiental como la alteración inducida, tal como es y tal como se percibe; esto se refiere a que el impacto es tanto la alteración, en términos objetivos, como la apreciación o valoración que de esa alteración se tiene. En la Tabla 9, se describen los impactos según el carácter de las alteraciones, entendidas como un cambio en el sistema de elementos e interrelaciones del ambiente.

Tabla 9. Clasificación de impactos ambientales.

Criterio de clasificación	Tipo de impacto	Descripción
Causalidad	Primarios	Son los efectos que ocurren en el mismo tiempo y lugar de la acción.
	Secundarios	Son cambios indirectos o inducidos en el ambiente ocasionados por la acción.
Momento	Latente	Se manifiesta a través del tiempo desde el inicio de la actividad que lo provoca.
	Crítico	Es el impacto en el que tiene lugar el más alto grado de afectación, independiente de su plazo de manifestación.
Alteraciones	Simple	Se manifiesta sobre un componente ambiental de manera individual.
	Acumulativo	Son impactos que incrementan cuando se añaden acciones pasadas, presentes y esperadas en el futuro, y tienden a empeorar con el tiempo.
Extensión	Puntual	Es producido por la acción mediante una alteración localizada.
	Parcial	El impacto supone una incidencia apreciable en el área.
	Extremo	Se presenta en una gran parte del territorio.
	Total	Se manifiesta de manera generalizada en todo el entorno.
Persistencia	Temporal	Supone una alteración no permanente en el tiempo, con un plazo de manifestación que puede determinarse.
	Permanente	Supone una alteración indefinida en el tiempo.
	Irrecuperable	La alteración o pérdida es imposible de reparar.
Recuperabilidad	Irreversible	Supone la imposibilidad o dificultad extrema de retornar, por medio naturales a la situación anterior.
		Reversible
	Fugaz	La recuperación es inmediata tras el cese de la actividad y no precisa prácticas de mitigación.

Fuente: (Español, 1995); (Canter, 2002).

Métodos de EIA. Existen diversos métodos para la evaluación de impacto ambiental; sin embargo, el conjunto de sistemas que se establezca en la EIA debe cumplir con la identificación y valoración de impactos principalmente, además de la agregación/comparación de impactos y la función adicional de información al público.

Canter, (1996) clasifica los métodos de EIA en “*ad hoc*”, técnicas gráficas mediante mapas y superposiciones, listas de chequeo, matrices y diagramas. Para la EIA en sitios de disposición final, también se utiliza el análisis de ciclo de vida, que se asocia a todas las etapas de una actividad y proporciona información útil sobre la mejora de todo el proceso desde una perspectiva ambiental, mediante la caracterización, normalización y ponderación (Yang *et al.*, 2014). Otro método de EIA en vertederos, es la Matriz Rápida de Evaluación de Impacto ambiental, basado en una definición estándar de criterios de evaluación para proporcionar una puntuación precisa e independiente para cada condición (Mondal *et al.*, 2010). En la Tabla 10, se presentan los principales sistemas utilizados para la identificación de impactos.

Tabla 10. Métodos de identificación de impactos.

Tipo	Descripción	Subtipos
Listas de control	Las listas de control se basan en sistemas que proponen una lista de impactos para un tipo determinado de proyecto.	Listas de control de impactos y cuestionarios.
Matrices acción/factor	Las matrices de acción/factor con sistemas tabulares de acciones y factores ambientales que indican la relación causa-efecto.	Matrices de pequeñas y grandes dimensiones agrupadas o detalladas como la Matriz de Leopold.
Diagramas de redes	Son diagramas de flujos en los que se representan las dependencias entre factores ambientales y las afectaciones directas de las acciones.	Se representan con mayor o menor detalle de relaciones entre acciones y factores como la red de presas.
Sistemas elaborados	Matrices con casillas relacionadas.	La casilla de cada impacto contiene las coordenadas de las afectaciones como el Método Galleta.
	Matrices de pre-valoración.	La identificación es resultado de condensar una matriz de valor según la gravedad más significativa. Ejemplo de este método es el propuesto por Hernández-Muñoz.

Fuente: (Español, 1995).

La valoración de importancia de los impactos se determina según la calidad intrínseca del factor ambiental, el carácter del impacto y el peso relativo. La valoración se incorpora al criterio de gravedad a través de la magnitud que se basa en las condiciones del factor ambiental afectado; la importancia según el carácter del impacto se refiere a las condiciones en las que se produce y con las que se desarrolla la alteración, estas condiciones se describen en la Tabla 9; la importancia como peso relativo se asigna a juicio de cada especialista según los criterios del propio factor ambiental.

La valoración de cada impacto se establece en una escala de gravedad de referencia que se refiere a los umbrales de admisibilidad establecidos para los impactos críticos, severos, moderados, compatibles y significativos. En la Tabla 11, se presentan los principales sistemas de valoración.

Tabla 11. Sistema de valoración de impactos.

Fase	Tipo	Descripción
Gravedad del impacto	Valoración de la gravedad del impacto	Este método otorga un valor sintético de la admisibilidad que incluye dimensión y relevancia.
	Valoración de la magnitud e importancia	Otorga un criterio de magnitud e importancia por separado e informa sobre la dimensión y relevancia del impacto.
Escala de referencia	Escala oficial	Otorga una descripción de los impactos: crítico, severo, moderado y compatible.
	Otras escalas cualitativas	Son escalas verbales o gráficas a través de colores y signos de fácil visualización.
	Criterios cualitativos	Presentan el valor con gran información, según el argumento del experto.
Criterios de valoración	Criterios cuantitativos	Los indicadores de estado se describen a través de variables de las condiciones que se ven alteradas por la acción; el método Batelle se utiliza en este sistema para medir la variación con certeza. Los indicadores de alteración se determinan mediante fórmulas ad-hoc que miden el propio cambio.
	indicadores de estado y alteración	
Valoración de importancia	Calidad intrínseca	Describe la calidad previa del factor ambiental y muestra la calidad deteriorada.
	Carácter del impacto	Según los mecanismos de alteración muestra el tipo de deterioro.
	Peso relativo	Se determina en función de la importancia de los impactos respecto de otros.

Fuente: (Español, 1995).

2.4. Huella de carbono en el manejo de RSU

El crecimiento de la población, la creciente urbanización y el desarrollo socioeconómico representan un desafío para los países en vías de desarrollo debido a las características de los municipios en los que el manejo de RSU se lleva a cabo. En la actualidad, la generación total de residuos anual mundial es de 17 millones de toneladas, para el 2050 se estima que llegará a 27 millones de toneladas; de esta cantidad, 1.3 millones de toneladas son RSU y para el 2015 las proyecciones indican que se generarán hasta 2.2 millones de toneladas (Karak *et al.*, 2013).

Entre 1990 y 2005, las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) globales generadas por RSU depositados en vertederos, aumentaron en aproximadamente

12%. Actualmente las emisiones de Metano (CH_4) ocupan el quinto lugar entre todas las fuentes de Dióxido de Carbono equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq}$), siendo una fuente de contaminación y afectación económica, social y ambiental (INECC, 2010). Las emisiones de GEI aportadas por el biogás que se produce durante la descomposición de RSU en los vertederos contienen Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O), contaminantes que generan una problemática al ambiente y bienestar público intensificado las concentraciones de GEI en la atmósfera y contribuyendo al efecto invernadero natural a través de emisiones antropogénicas que aportan al cambio climático (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

En todas las etapas del manejo de RSU (generación, recolección, transporte, compostaje, y disposición) se producen emisiones de GEI; a nivel global, el manejo de RSU y el manejo de aguas residuales representan el 2.7% de las emisiones, siendo altamente relevantes por el alto porcentaje de componentes biodegradables (Hermann *et al.*, 2011). La cantidad de GEI que se emite a la atmósfera de manera directa e indirecta teniendo en cuenta todas las fuentes dentro de un sistema espacial y temporal expresado en términos de $\text{CO}_2\text{-eq}$, se define como la huella de carbono (Cifrian *et al.*, 2012).

Este cálculo obedece a preocupaciones de desarrollo social y económico, así como al problema del cambio climático global; por lo anterior, la medición y la reducción de GEI a través de la huella de carbono se utiliza como herramienta de mitigación a fin de apoyar la toma de decisiones y el análisis de políticas para dar seguimiento a los impactos del cambio global. La Asociación Internacional de Residuos Sólidos por sus siglas en inglés ISWA plantea el uso de métodos de medición indirectos para desarrollar y garantizar la aplicación de instrumentos de política ambiental con la finalidad de cumplir objetivos y metas ambientales en el manejo de RSU (ISWA, 2012).

Existen diversos métodos para la determinación de GEI, los métodos directos se consideran más aceptables; sin embargo, requieren monitoreo y mediciones in situ pero las dificultades se centran en los altos costos que representan, la inseguridad para acceder a los puntos de muestreos y la necesidad de infraestructura física, técnica y de recursos humanos especializados.

Los métodos indirectos para la estimación de GEI en términos de la HdC se realizan mediante el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) basados en factores de emisión, cálculos de ingeniería y modelos matemáticos de emisión para obtener datos aceptables que ayuden en la formulación, aplicación, evaluación de estrategias y medidas de política ambiental para promover la transición sistemática hacia la gestión de RSU sostenibles. El inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero indica que en 2010 las emisiones de CH₄ incrementaron en un 59.8% con respecto a 1990, las principales fuentes de emisión corresponden a las categorías de desechos, energía y agricultura. En la categoría de desechos las emisiones se incrementaron de manera significativa como consecuencia del manejo y disposición de RSU en los sitios de disposición final de residuos.

2.5. Generación de biogás en SDF

La eliminación de los RSU es uno de los principales problemas ambientales a enfrentar y los vertederos representan el medio más económico y sencillo de eliminación de residuos a nivel mundial, sobre todo en los países en vías de desarrollo y economías emergentes. Los vertederos se diseñan utilizando cubiertas sintéticas para evitar infiltraciones al subsuelo; no obstante, existe contaminación en acuíferos subterráneos debido a la formación de grietas a consecuencia de la edad de los vertederos y la humedad que es determinada por la precipitación y la temperatura del lugar.

En la práctica, se ha demostrado que los vertederos no constituyen una solución definitiva ante la creciente generación de RSU por los impactos que ocasionan sobre el agua, el suelo, el aire principalmente durante el proceso de descomposición anaeróbica en el que se genera CH₄ y CO₂ como productos finales, contaminantes considerados dentro de los GEI que se emiten a la atmósfera y se relacionan con el agotamiento del ozono y el cambio climático (Bolan *et al.*, 2013). La composición del biogás y de los lixiviados varía según la edad del vertedero y el tipo de residuo depositado; existe una amplia gama de contaminantes como el CH₄, CO₂, nitrógeno (N₂), azufre (SO₂) y compuestos sulfurosos que se asocian con el olor, las

concentraciones de metales pesados se consideran bajas por lo que no existe una preocupación para la salud humana o el ambiente, pese a la presencia de arsénico y cromo en concentraciones que impactan directamente sobre la salud pública y los acuíferos (Bareither *et al.*, 2013). En el proceso de descomposición anaeróbico, el gas emitido en mayor concentración es el metano (50-60%) producido por las bacterias metanogénicas, seguido del dióxido de carbono (40- 50%). Las emisiones de biogás representan una amenaza para el ambiente pero puede ser recuperado y utilizado como recurso energético alternativo.

Existen incentivos económicos y normativos, incluyendo el comercio de compensación de carbono, créditos de energía renovable y créditos de certificados de energía verde a la producción de electricidad, a partir de fuentes renovables; esto permite que la recuperación del biogás se presente como una fuente de combustible según los volúmenes potenciales de CH₄ que reducen las emisiones de GEI, mediante la prevención de la liberación de contaminantes a la atmosfera a partir de métodos de conversión de energía (Caresana *et al.*, 2011). La obtención del biogás se propone como un método eficaz por su potencial como fuente de energía renovable, pero un reto importante a considerar es la incertidumbre en las estimaciones de la tasa de generación y recuperación debido a la falta de información puntual de los vertederos (Wang *et al.*, 2011).

A nivel global se estiman 70 millones de toneladas anuales de emisiones de metano; la captura donde el biogás es utilizado como fuente de electricidad o de almacenamiento reduce las emisiones de CH₄ en aproximadamente 5 millones de toneladas por año. La extracción del biogás requiere una tecnología costosa, razón por la que se ha implementado, sobre todo, en países desarrollados dadas las posibilidades de inversión y la viabilidad del sistema de captura. En Australia, los proyectos de biogás han aumentado en número y producción eléctrica total desde el año 2005, y en los últimos años han diseñado vertederos con sistemas de recuperación de biogás dirigidos a operarse como sitios de biorrefinería potencial para el aprovechamiento del CH₄ (Amini *et al.*, 2012).

El biogás se extrae utilizando una serie de pozos y un sistema de aspirador que dirige el gas a un punto central donde puede ser procesado y tratado en función del uso final, utilizado para generar electricidad, para sustituir los combustibles fósiles en las operaciones industriales y de fabricación, acondicionado para el uso directo o transformado en combustible alternativo para vehículos, también puede ser utilizado para la cocción de la cerámica y vidrio soplado, para la calefacción de invernaderos y para el calentamiento de agua para la acuicultura (Machado *et al.*, 2009).

En México los vertederos se describen como SDF controlados y no controlados; los SDF no controlados son lugares inadecuados de disposición que no cuentan con los requisitos mínimos establecidos en la normatividad aplicable (SEMARNAT, 2004b), los SDF controlados cumplen con las especificaciones de un relleno sanitario al involucrar métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos pero no cumplen completamente con la operación e infraestructura.

A nivel nacional se han estimado emisiones de metano en la categoría de agricultura; Saldaña-Munive *et al.*, (2015) reportaron 0.182 Gg de emisiones de metano procedentes de los residuos agrícolas; Valdez *et al.*, (2015) señalan el manejo del estiércol del ganado como fuentes importantes de emisiones de metano. En el año 2015, Arellano-Wences *et al.*, (2015) reportaron 15.987 Gg de CO₂ equivalente derivado del manejo de los RSU en Unidades Académicas de Acapulco, Guerrero; Vargas, Alvarado, López y Cisneros, (2015) destacan la necesidad de implementar programas de mitigación de GE en instituciones educativas; Sánchez-Santillán *et al.*, (2015) afirman que la influencia de los residuos ocasiona un grave impacto; luego entonces, surge la necesidad de realizar estimaciones que brinden información confiable con la finalidad de plantear estrategias de mitigación y adaptación ante el cambio climático global.

III. JUSTIFICACIÓN

En el país, la mayor parte de los SDF anteriores al año 2004 se clasifican como SDF no controlados al carecer de medidas de ingeniería destinadas a minimizar sus impactos en el largo plazo. Entre estos impactos se consideran las afectaciones que ocasionan sobre los recursos freáticos, contaminación al aire y generación de GEI, pérdida irreversible de suelo y vegetación así como los daños que representan para la salud pública. Una vez terminada la vida útil de un SDF se considera como clausurado; a nivel mundial, existe la convención de que cuando se alcanza un lapso de tiempo mayor a 20 años clausurado, se considera en etapa de posclausura.

La NOM-083-SEMARNAT-2003; señala que los SDF deben ser monitoreados después del cierre. Sin embargo, no existen criterios técnicos para definir la estabilidad de los SDF clausurados ni los instrumentos para evaluar el impacto ambiental que se generan en la etapa de posclausura. Por lo tanto, surge la necesidad de proponer un modelo de EIA aplicable en SDF de RSU en etapa de posclausura; debido a los costos de los métodos directos y la dificultad de acceso a la información por inexistencia, restricción o inseguridad, se propone un modelo de (EIA_{SDFEP}) indirecto, sinóptico, viable y de fácil aplicación mediante indicadores sinópticamente validados en unidades de impacto ambiental ponderado, representado a través de técnicas especializadas de SIG con casos de estudios reales para seleccionar medidas de mitigación a fin de minimizar las afectaciones en el largo plazo.

El modelo resulta confiable ya que provee valores cuantitativos que pueden tomarse como referencia para favorecer la reorganización del territorio en las zonas afectadas por la presencia de SDF clausurados, incorporando criterios de análisis no contemplados actualmente en los planes y programas estratégicos de ordenamiento territorial en una fase temprana del proceso de planificación. La propuesta surge como un aporte metodológico pertinente que resuelve la problemática actual, y se espera que sirva como un documento administrativo con perspectivas de aplicación que abarcan todo el territorio nacional.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Proponer un modelo de evaluación de impacto ambiental aplicando índices e indicadores de los medios físico (biótico y abiótico), paisajístico y socioeconómico para evaluar sitios de disposición final en etapa de posclausura.

4.2. Objetivos específicos

1. Analizar los métodos de evaluación de impacto ambiental aplicados en sitios de disposición de residuos sólidos urbanos.
2. Analizar la normatividad aplicable en materia de residuos sólidos urbanos.
3. Proponer un modelo de evaluación de impacto ambiental para evaluar sitios de disposición en etapa de posclausura.
4. Validar el modelo de evaluación de impacto ambiental en un caso de estudio.

V. METODOLOGÍA

El proceso metodológico para la EIA en etapa de posclausura, comprende la construcción del modelo de evaluación y la aplicación en un caso de estudio. En la Figura 3, se plantea el diagrama de flujo general, y a continuación se describe cada etapa.

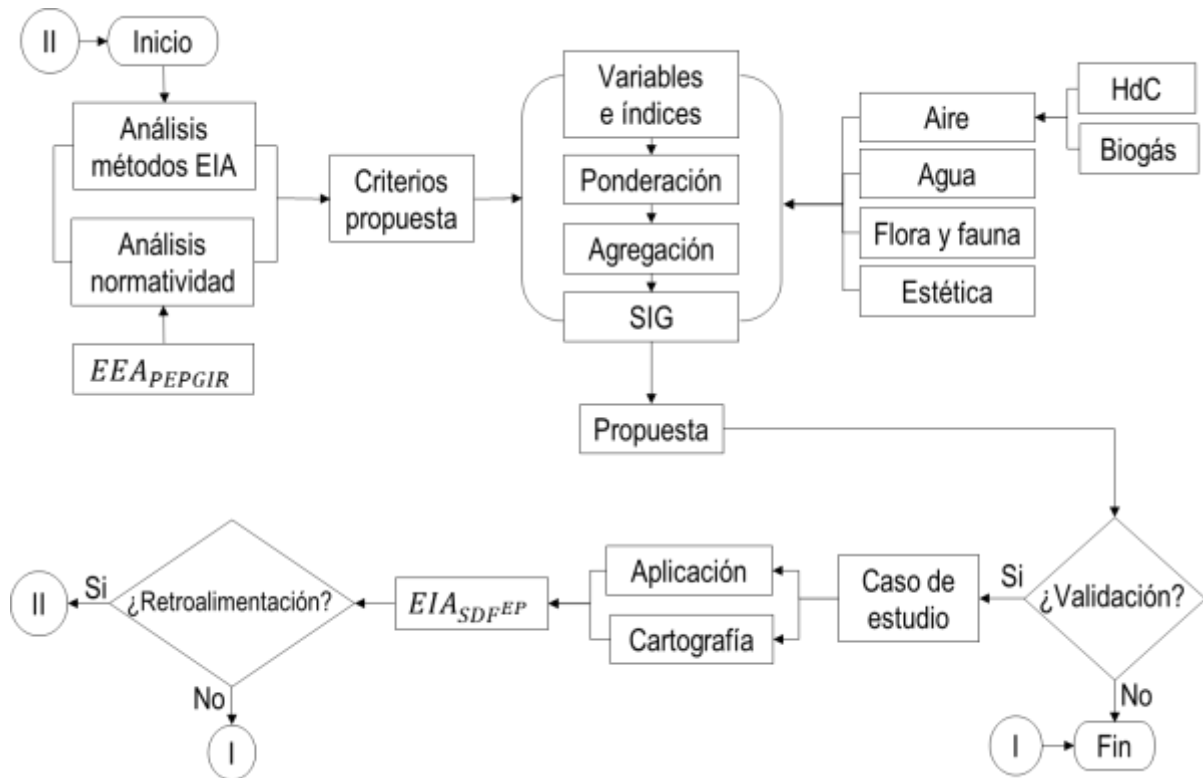


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso metodológico general (elaboración propia).

5.1. Análisis de métodos de EIA aplicados en SDF de RSU

En esta etapa metodológica se realizó una búsqueda avanzada de literatura especializada mediante el acopio de referencias provenientes de bancos de información primaria. En la Figura 4, se muestran los pasos realizados para el desarrollo del objetivo en que se utilizaron palabras clave como descriptores de búsqueda. Posteriormente se realizó una revisión analítica de las referencias obtenidas para discernir los métodos existentes; la revisión se centró en estudios que incluían métodos de EIA aplicados en SDF de residuos. Una vez que se seleccionaron los artículos a analizar, se realizó una comparación de los métodos de EIA para establecer una base de información a partir de la experiencia de los mecanismos de evaluación aplicados en otros sitios del mundo. La comparación de los métodos de EIA se realizó bajo los criterios señalados por Español, (1995): Identificación y valoración del impacto.

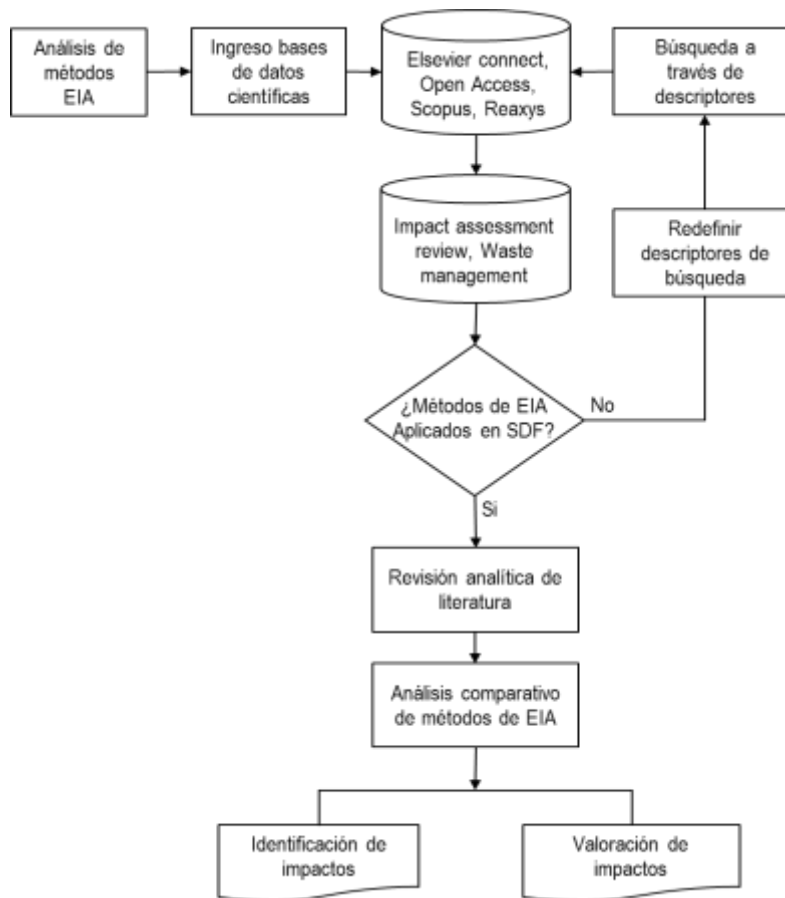


Figura 4. Diagrama de flujo para el análisis de métodos de EIA aplicados en SDF (elaboración propia).

5.2. Análisis de la normatividad en materia de RSU

En esta etapa metodológica se analizó la normatividad en materia RSU a través de la evaluación del Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PEPGIR), desarrollado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del estado de Guerrero; el cual contiene los lineamientos, acciones y metas para el manejo integral de los residuos, con el objetivo de conservar el ambiente y propiciar el desarrollo económico sustentable para asegurar la calidad de vida. Para la evaluación del programa se aplicó la Evaluación Estratégica Ambiental (EEA) que sirve en el análisis de alternativas que integran consideraciones ambientales y de sostenibilidad en la toma de decisiones estratégicas mediante la evaluación del impacto de los Planes de desarrollo, Políticas y Programas (PPP) en una fase temprana del proceso de planificación (Li, Xie & Hao, 2014).

La EEA se basa en métodos de análisis multicriterio como la Matriz Rápida de Evaluación de Impacto por sus siglas en inglés RIAM, desarrollada por Pastakia & Jensen, (1998) que se fundamenta en criterios de evaluación para proporcionar una valoración precisa en el análisis de PPP. El proceso metodológico consiste en la creación de indicadores ambientales, asignación de valores numéricos, cálculo de puntuaciones ambientales y evaluación de alternativas mediante las siguientes formulas.

$$AT = (A1) * (A2) \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$BT = (B1) + (B2) + (B3) \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$ES = (AT) * (BT) \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$\text{Agregación } ES = \sum[\text{Alterativas}](RB) + (C) \quad \text{Ecuación 4.}$$

$$\text{Punt. Amb.} = \sum(RB) + (A01) + (A02) + (A03) + (A04) + (A05) \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

(A1) y (A2): Puntuaciones individuales de los criterios para el grupo (A).

(B1), (B2) y (B3): Puntuaciones individuales de criterios para el grupo (B).

(AT): Resultado de la multiplicación de todas las puntuaciones (A).

(BT): Resultado de la suma de todas las puntuaciones (B).

ES: Puntuación ambiental.

La creación de indicadores ambientales y la selección de alternativas de mitigación se propusieron luego de una búsqueda de información y revisión de las investigaciones de Barton, Dalley & Patel, (1996); Berrón, (2002); Wanichpongpan & Gheewala,

(2007); Kaplan, Ranjithan & Barlaz, (2009); Kaufman, Krishnan & Themelis, (2010); Morris, (2010); Zhang, Baral & Bakshi, (2010); Clavreul, Guyonnet & Christensen, (2012); Ingwersen, Curran, González & Hawkins, (2012); Khoo, Tan & Tan, (2012); Manfredi & Goralczyk, (2013); Song, Wang & Li, (2013) y Dong *et al.*, (2014) en las que se establecen indicadores y criterios de evaluación en materia de residuos bajo el esquema de la metodología RIAM.

Consiguientemente, se analizaron las políticas ambientales contenidas en la Figura 5, se aplicó la guía de verificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003 a través de una lista de chequeo contenida en la guía para la realización de planes de regularización conforme a la norma (SEMARNAT-GTZ, 2005), y el índice ambiental desarrollado por Viguera, (2006) para evaluar el cumplimiento del SDF respecto de la NOM-083-SEMARNAT-2003. Los instrumentos de evaluación se aplicaron en visitas de campo realizadas durante los años 2012 al 2014.

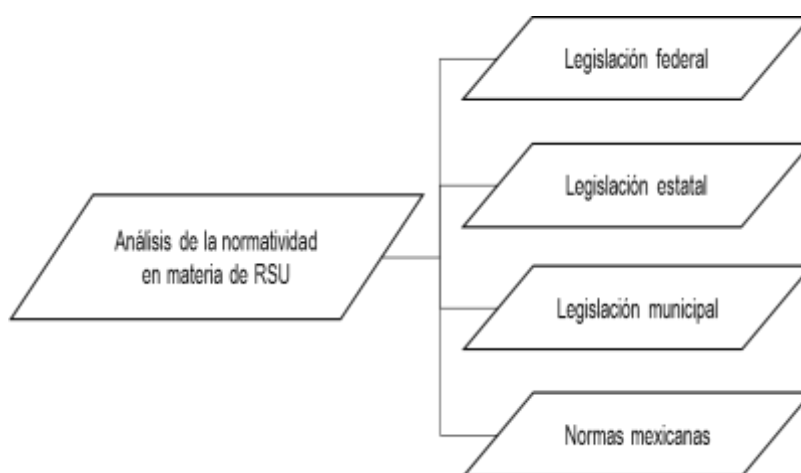


Figura 5. Diagrama del análisis de la normatividad en materia de RSU (elaboración propia).

Finalmente, se propusieron indicadores que plantean una solución viable para la toma de decisiones en función de las condiciones locales actuales, considerando aspectos básicos de las políticas ambientales para una gestión adecuada de RSU. Los indicadores se ubican en cuatro categorías definidas por Pastakia & Jensen, (1998): Físico/Químicos (FQ); Biológico/Ecológicos (BE); Socio/Culturales (SC) que incluyen aspectos humanos del entorno, y Económico/Operativos (EO) que incluyen aspectos cualitativos para identificar las consecuencias económicas del cambio ambiental, tanto

temporales como permanentes. La integración de la matriz de evaluación se desarrolló mediante la asignación de valores numéricos para cada una de las alternativas propuestas para el área de estudio, éstos valores se transpusieron con cada indicador de las categorías FQ, BE, SC y EO utilizando los criterios de evaluación contenidos en la Tabla 12.

Tabla 12. Criterios de evaluación para la matriz RIAM.

Criterio	Escala	Descripción
A1: importancia de la condición	4	Importante para los intereses nacionales/internacionales
	3	Importante para los intereses regionales/nacionales
	2	Importante para las zonas inmediatamente fuera de la condición de local
	1	Importante únicamente a la condición local
	0	Sin importancia
A2: magnitud del cambio/efecto	+3	Mayor beneficio positivo
	+2	Mejora significativa en la situación actual, status quo
	+1	Mejora de la situación actual, status quo
	0	Sin cambios/status quo
	-1	Cambio negativo en el statu quo
B1: permanencia	-2	Deterioro negativo significativo o cambio
	-3	Mayor deterioro o cambio
	1	Sin cambios/no aplicable
B2: la reversibilidad	2	Temporal
	3	Permanente
B3: acumulativa	1	Sin cambios/no aplicable
	2	Reversible
	3	Irreversible
	1	Sin cambios/no aplicable
	2	No acumulativas/simple
	3	Acumulativa/sinérgico

Fuente: (Pastakia & Jensen, 1998).

En el cálculo de las puntuaciones ambientales se emplearon las Ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) desarrolladas por Pastakia y Jensen, (1998). La evaluación de las alternativas se realizó a través de los rangos de bandas contenidos en la Tabla 13 para contrastar con la puntuación ambiental y determinar el potencial de impacto. En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se muestran los diagramas de flujo del proceso metodológico que se realizó para la evaluación del programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos del estado de Guerrero, utilizando la matriz rápida de evaluación de impacto como herramienta de evaluación ambiental estratégica.

Tabla 13. Rangos de banda para contrastar la puntuación ambiental.

Puntuación Ambiental	Rango bandas	Descripción de bandas de rango
+72 a +108	+ E	Mayor cambio positivo/impactos
+36 a +71	+D	Cambio positivo significativo/impactos
+19 a +35	+ C	Cambio moderadamente positivo/impactos
+10 a +18	+ B	Cambio positivo/impactos
+1 a +9	+A	Cambio ligeramente positivo/impactos
0	N	Sin cambios/cambio de status quo/no aplicable
-1 a -9	-A	Cambio ligeramente negativo/impacto
-10 a -18	-B	Cambios negativos/impactos
-19 a -35	-C	Cambios moderadamente negativos/impactos
-36 a -71	-D	Cambio negativos significativos/impactos
-72 a -108	-E	Gran cambio negativo/impactos

Fuente: (Pastakia & Jensen, 1998).

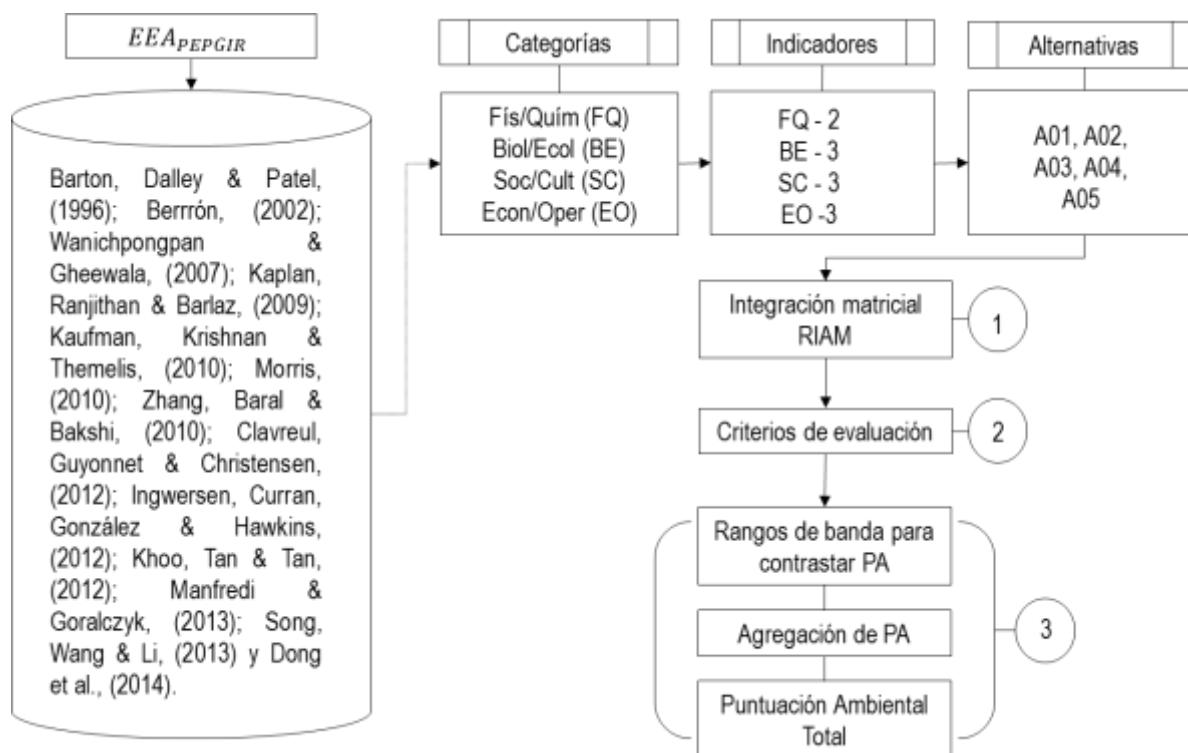


Figura 6. Diagrama de flujo general para la evaluación del PEPGIR (elaboración propia).

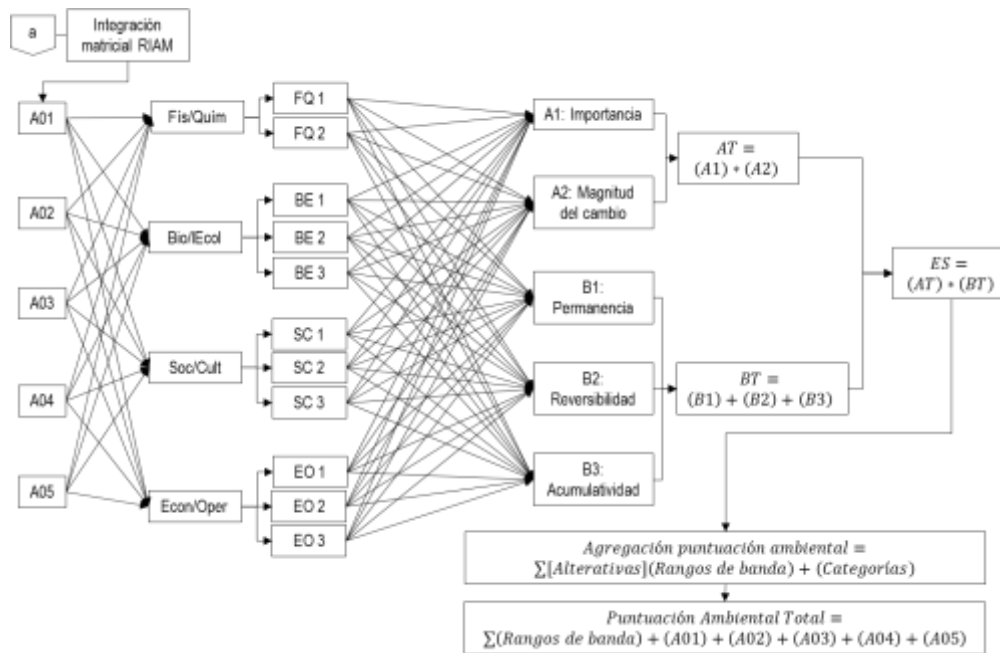


Figura 7. Diagrama de flujo para la evaluación del PEPGIR, integración matricial (continuación).

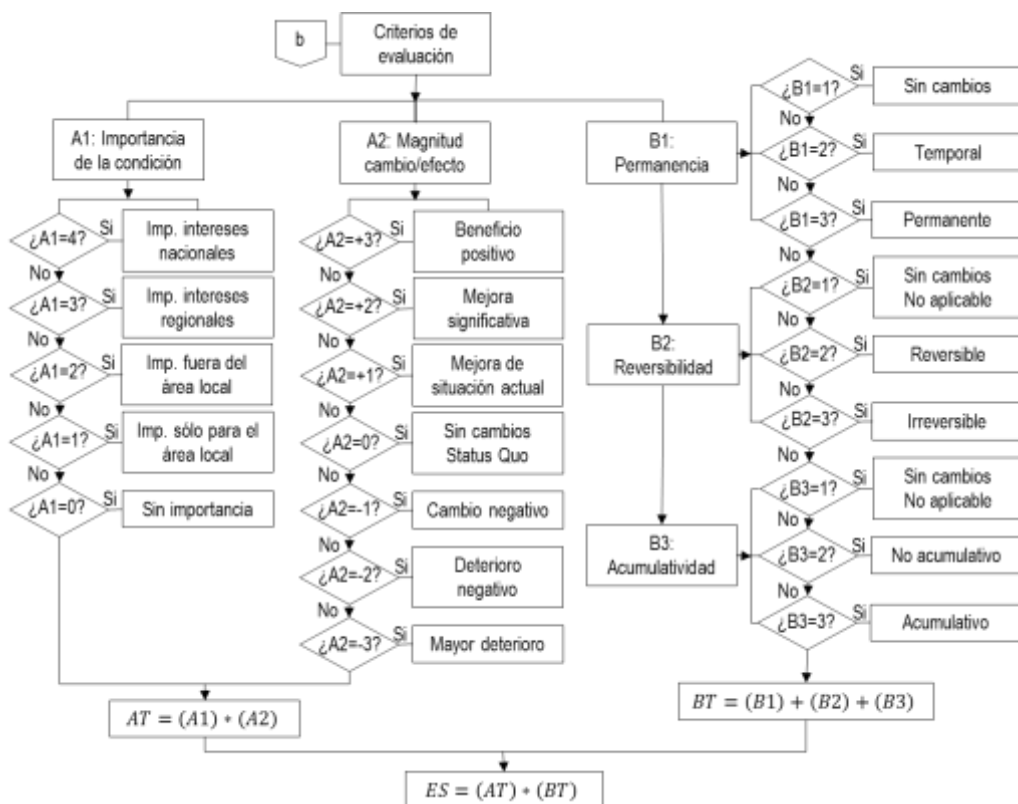


Figura 8. Diagrama de flujo para la evaluación del PEPGIR, criterios de evaluación (continuación).

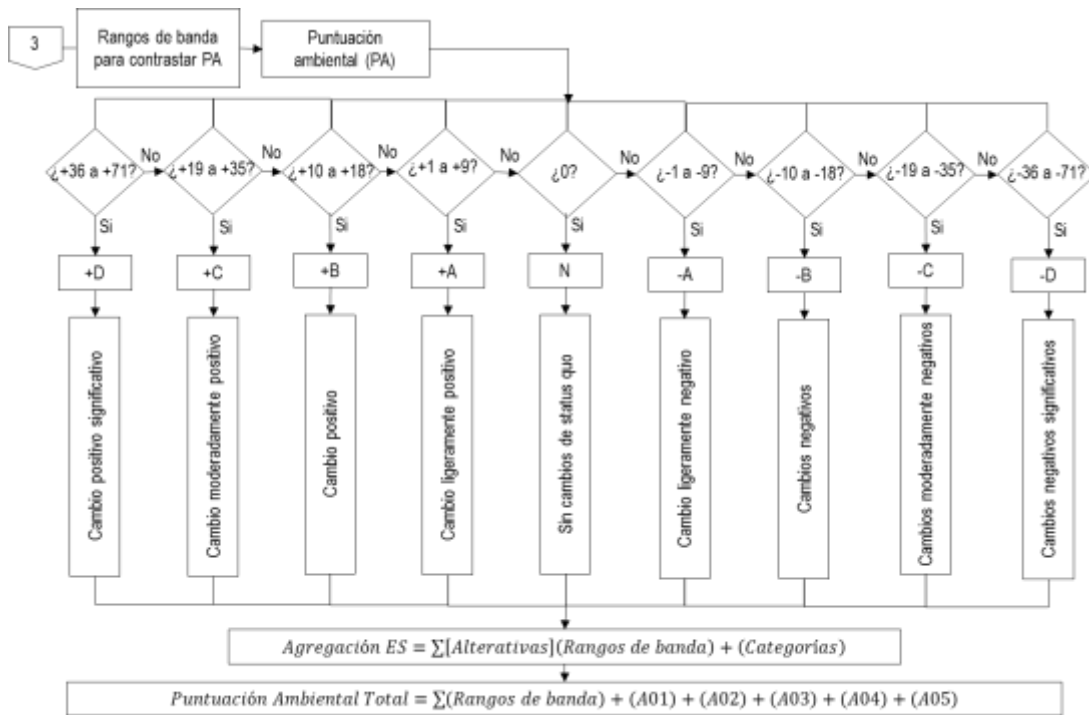


Figura 9. Diagrama de flujo para la evaluación del PEPGIR, rangos para contrastar la puntuación ambiental (continuación).

5.3. Propuesta del modelo de EIA para SDF en etapa de posclausura

El modelo de Evaluación de Impacto Ambiental para SDF en Etapa de Posclausura (EIA_{SDFEP}), se formula en cuatro etapas; la primera etapa consiste en la selección de los indicadores de impacto y los índices de evaluación; la segunda, en la derivación de los factores de ponderación; la tercera, en la agregación de índices de impacto y la última etapa consiste en la representación del impacto ambiental a través de la representación de datos espaciales mediante Sistemas de Información Geográfica.

El modelo se basa en variables ambientales que adoptan la forma de indicadores medibles a partir de métodos indirectos donde un valor más alto indica una condición ambiental más afectada. La condición ambiental se plantea como un valor adimensional que mide la proximidad del entorno a su óptimo ambiental denominado paraíso ambiental y su baja situación ambiental que para fines del modelo que se propone, la baja situación ambiental se designará como impacto ambiental de SDF en

Etapa de Posclausura. El concepto de paraíso ambiental se deriva del método de EIA del Instituto Batelle-Columbus que incluye aspectos ambientales, sociales, culturales y geológicos. El modelo de EIA_{SDFEP} establece la gravedad del impacto que generan las celdas en etapa de posclausura sobre los elementos susceptibles de afectaciones, y por agregación el SDF en su conjunto para conocer el máximo de impacto ambiental. Los valores de impacto que generan todos los indicadores de todos los índices se aúnan en un único valor sintético denominado Unidades de Impacto Ambiental Adimensional ($UIAA$), mediante una agregación que consiste en una suma ponderada de los valores obtenidos según cada indicador y pesos relativos establecidos para el modelo.

La agregación se contempla en rangos de 0 a 1000 $UIAA$ que integran la matriz de prevaloración para la posterior representación a través del método de Hernández-Muñoz. Este método consiste en la representación de la gravedad del impacto mediante una escala colorimétrica de semáforo de riesgo para simplificar y representar visualmente el impacto ambiental en cartografía ex profeso para el área de estudio. En la Figura 10, se presenta la escala de gravedad del impacto considerando rangos de valores en $UIAA$, la escala colorimétrica de riesgo y la descripción de la afectación de acuerdo a la gravedad de valoración del Real Decreto de Evaluación de Impacto contenido en la Ley 21/2013 de evaluación ambiental.

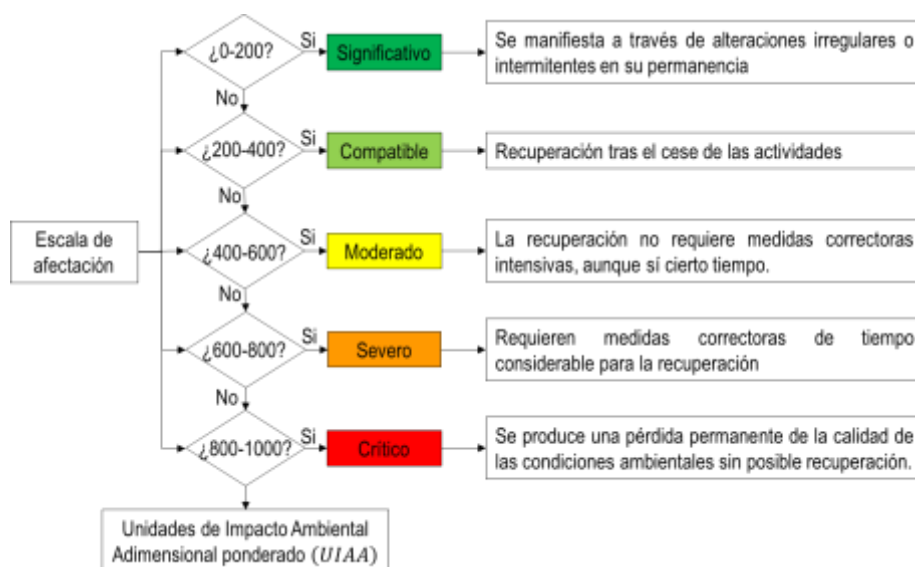


Figura 10. Escala de afectación en $UIAA$ (elaboración propia).

Selección de los elementos de impacto. Los elementos de impacto seleccionados para la aplicación del modelo de EIA_{SDFEP} , son los que directamente se ven afectados por las actividades de diseño, construcción, operación, clausura y obras complementarias de un SDF. Estas variables que adoptan la forma de indicadores se presentan en la Tabla 14; incluyen de manera integral los medios físico (biótico y abiótico), paisajístico y socioeconómico en relación a las afectaciones por infiltración de lixiviados, emisiones de GEI por biogás, afectación de flora y fauna, y apreciación paisajística y social.

Tabla 14. Variables e indicadores de impacto.

Elemento de impacto		Variables	Tipo de afectación	
Medio físico	Medio abiótico	Agua	Contaminación por infiltración	
		01. Concentración de contaminantes de lixiviados		
		02. Barrera impermeable		
		03. Captación y extracción de lixiviados		
		04. Drenaje pluvial para desvíos de escurrimientos		
	05. Cuerpos de agua superficiales, subterráneos y pozos de extracción de agua (500 metros)			
	Medio biótico	Flora y Fauna	06. Contaminantes del gas de SDF	Afectación de especies de interés
			07. Extracción, captación y conducción de biogás	
			08. Cobertura de RSU (<24 horas posterior al depósito)	
			09. Control de entrada y separación de RSU	
			10. Monitoreo de contaminantes de lixiviados	
	Paisaje	Socioeconómico	11. Afectaciones en la vegetación natural y local del ecosistema	Apreciación paisajística
			12. Ubicación del SDF en zona de fracturas o fallas geológicas	
			13. Ubicación del SDF en zona de ríos superficiales o subterráneos	
			14. Afectaciones en flora y fauna en riesgo (Nom-059-Semarnat-2010)	
	Social	Socioeconómico	15. Impacto visual en los alrededores del SDF por RSU y fauna nociva	Apreciación social
			16. Depreciación paisajística	
			17. Impacto de suelo	
			18. Impacto de olor	
19. Aversión psicológica				

Fuente: Elaboración propia.

Derivación de los factores de ponderación. En la Tabla 15, se presenta la ponderación designada para la aplicación del modelo de EIA_{SDFEP} . Los factores de ponderación se calcularon sobre la base de importancia de los elementos ambientales

que son afectados directamente por las actividades de disposición de residuos: agua, aire, flora y fauna, y paisaje. El medio abiótico que incluye los elementos de impacto de agua y aire, reciben el mayor valor de ponderación ya que en sí mismos son elementos susceptibles de impacto debido a que las afectaciones de un SDF recaen sobre estos elementos en mayor intensidad. Las alteraciones en los cuerpos hídricos representan una gran importancia por su repercusión en la calidad del agua, así mismo la calidad del aire debido a las condiciones de salubridad en razón de las emisiones.

Tabla 15. Factor de ponderación de las variables seleccionadas.

Categorías	Elemento de impacto	Variables	% Ponderación categorías	% Ponderación variables
Medio abiótico	Agua	Var 01	0.50	0.05
		Var 02		0.05
		Var 03		0.05
		Var 04		0.05
		Var 05		0.05
	Aire	Var 06		0.05
		Var 07		0.05
		Var 08		0.05
		Var 09		0.05
		Var 10		0.05
Medio biótico	Flora y Fauna	Var 11	0.10	0.025
		Var 12		0.025
		Var 13		0.025
		Var 14		0.025
Socioeconómico	Paisaje	Var 15	0.15	0.05
		Var 16		0.05
		Var 17		0.05
	Social	Var 18	0.25	0.125
		Var 19		0.125
			$\Sigma=1.0$	$\Sigma=1.0$

Fuente: Elaboración propia.

Agregación de los elementos de impacto. Se realiza la integración de las distintas valoraciones a través de índices de evaluación de impacto. Para la aplicación de los índices que integran el modelo de EIA_{SDFEP} , se suministran valores provenientes del cálculo de la huella de carbono en el manejo de los residuos; valores de la determinación de generación y recuperación de biogás, información proveniente de la representación de elementos ambientales a través de datos espaciales e información

de las listas de chequeo para el cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2004. Para la propuesta del modelo de EIA_{SDFEP} , también se desarrollaron funciones de agregación ponderada que adicionan la situación de cada indicador de impacto apoyado en indicadores individuales que incluyen aspectos del marco normativo nacional e información disponible derivada de métodos indirectos.

Para el desarrollo de las ecuaciones de agregación se tomó como referencia el índice de contaminación de lixiviados de vertederos (principal contaminante del agua) desarrollado por Kumar & Alappat, (2004); las curvas de puntuación subíndice para contaminantes de lixiviados de Kumar & Alappat, (2005); el índice de contaminación de aire desarrollado por Sharma *et al.*, (2008); el índice de contaminación de estética desarrollado por Meesa & Alappat, (2006) y el índice de flora y fauna de Sharma *et al.*, (2008). A continuación se describen los índices desarrollados para el modelo EIA_{SDFEP} .

Agua. Para reflejar el impacto de los lixiviados, principal fuente de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, se toma como base el índice de contaminación de lixiviados desarrollado por Kumar y Alappat, (2004). Este índice se modifica para utilizar las concentraciones de los contaminantes de lixiviados maduros (lixiviados >10 años); en la Tabla 16, se presentan las concentraciones de contaminantes de lixiviados maduros reportados por Tchobanoglous *et al.*, (1994).

Obtenidas las concentraciones de lixiviados maduros, se agregan las puntuaciones subíndices que dependen de la concentración del lixiviado; estas puntuaciones se derivan de las curvas de puntuación subíndice de la Figura 11. En la Ecuación (6), se presenta el Índice de Impacto de Agua de SDF en etapa de posclausura (IIA_{SDFEP}) desarrollado para el modelo de EIA_{SDFEP} según el indicador de concentración de contaminantes de lixiviados, y se convierte en una escala de gravedad de 0 a 1000 $UIAA$ mediante la Ecuación (7). En la Figura 12, se presenta el diagrama de flujo para la aplicación del IIA_{SDFEP} .

$$IIA_{SDF} = \sum_{i=1}^m W_i P_i \quad \text{Ecuación 6.}$$

$$IIA_{SDFEP} = IIA_{SDF}(m) \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

W_i : Factor de ponderación de los indicadores que integran el índice de impacto de agua.

P_i : Puntuación de afectación de las variables de impacto del elemento agua.

m : Número de indicadores para los que se dispone de datos.

IIA_{SDF} : Índice de impacto causado por lixiviados del SDF, calculado con la Ecuación (6).

IIA_{SDFEP} : Escala de gravedad del elemento agua, calculado con la Ecuación (7).

Tabla 16. Composición de lixiviados maduros.

Contaminantes de lixiviados	SDF maduro (>10 años)
DBO ₅	100 – 200
DQO	100 – 500
Sólidos totales en suspensión	100 – 400
Nitrógeno orgánico	80 – 120
Nitrógeno amoniacal	20 – 40
pH	6.6 – 7.5
Hierro	20 – 200

Valor: mg/l excepto el pH.

Fuente: (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

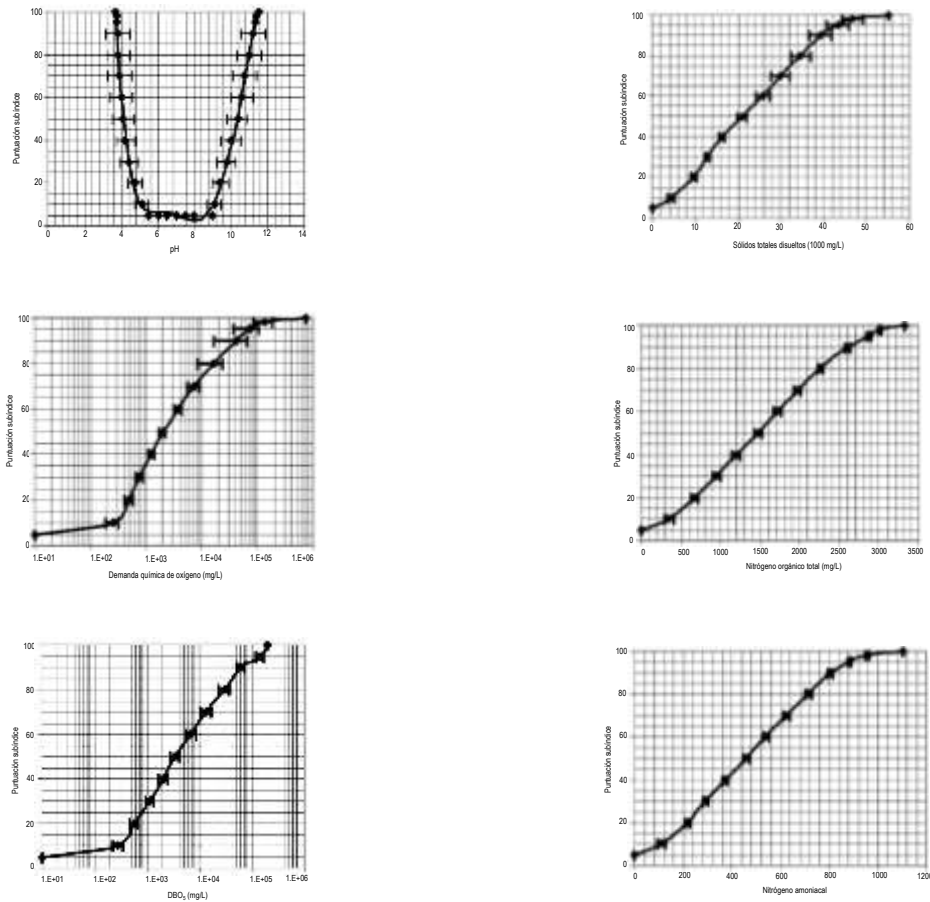


Figura 11. Curvas de puntuación subíndice para lixiviados (Kumar & Alappat, 2005).

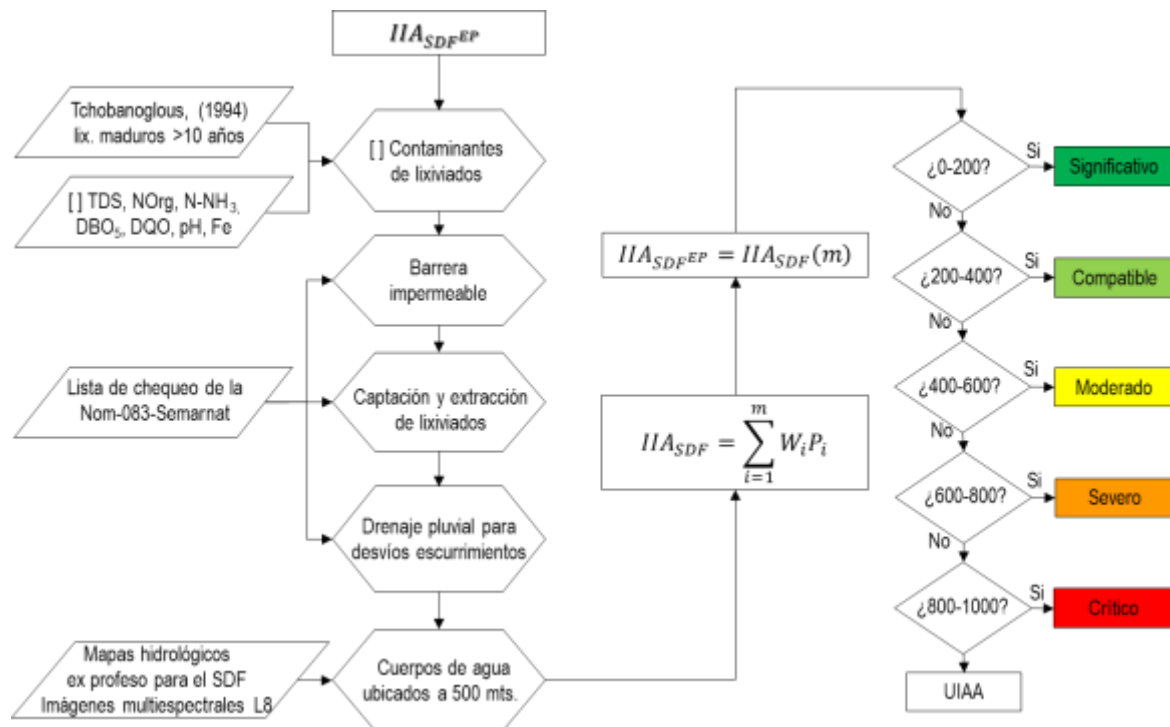


Figura 12. Diagrama de flujo para la aplicación del índice de impacto de agua de SDF en posclausura (elaboración propia).

Aire. Para evaluar la gravedad del impacto debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, se desarrolla el Índice de Impacto de Aire de SDF en Etapa de Posclausura ($IIAir_{SDFEP}$) basado en el índice de Sharma *et al.*, (2008). La aplicación del índice que se propone para la EIA_{SDFEP} integra los valores de la huella de carbono en el manejo de los RSU y el potencial de generación de metano durante la etapa de posclausura (los cálculos se describen en el apartado 5.3.1 y 5.3.2).

Los valores de la huella de carbono en términos de CO_{2-eq} y de CH_4 se contrastan con el porcentaje de concentración de los contaminantes de gases que se generan en los SDF maduros (>10 años), estos datos típicos son reportados por Tchobanoglous *et al.*, (1994) y se muestran en la Tabla 17. El $IIAir_{SDFEP}$ se aplica utilizando la Ecuación (8) y posteriormente se utiliza la Ecuación (9) para obtener la gravedad del impacto sobre el elemento de impacto que se evalúa. En la Figura 13, se presenta el diagrama de flujo para la aplicación del índice de impacto de aire de SDF en posclausura.

$$IIAir_{SDF} = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad \text{Ecuación 8.}$$

$$IIAir_{SDFEP} = IIAir_{SDF}(n) \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

X_i : Puntuación de contaminantes y afectaciones de las variables de impacto del elemento aire.

W_i : Factor de ponderación de los indicadores que integran el índice de impacto de aire.

n : Número de variables para las que se dispone de información.

$IIAir_{SDF}$: Índice de impacto del elemento aire utilizando la ecuación (8).

$IIAir_{SDFEP}$: Escala de gravedad del elemento aire, calculado con la Ecuación (9).

Tabla 17. Componentes del gas generado en SDF.

Contaminante del gas	% de gas del SDF (>10 años)
Metano	45 – 60
Dióxido de carbono	40 – 60
Nitrógeno	2 – 5
Oxígeno	0.1 – 1.0
Sulfuros	0 – 1.0
Amoníaco	0.1 – 1.0
Hidrógeno	0 – 0.2
Monóxido de carbono	0.01 – 0.6

Fuente: (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

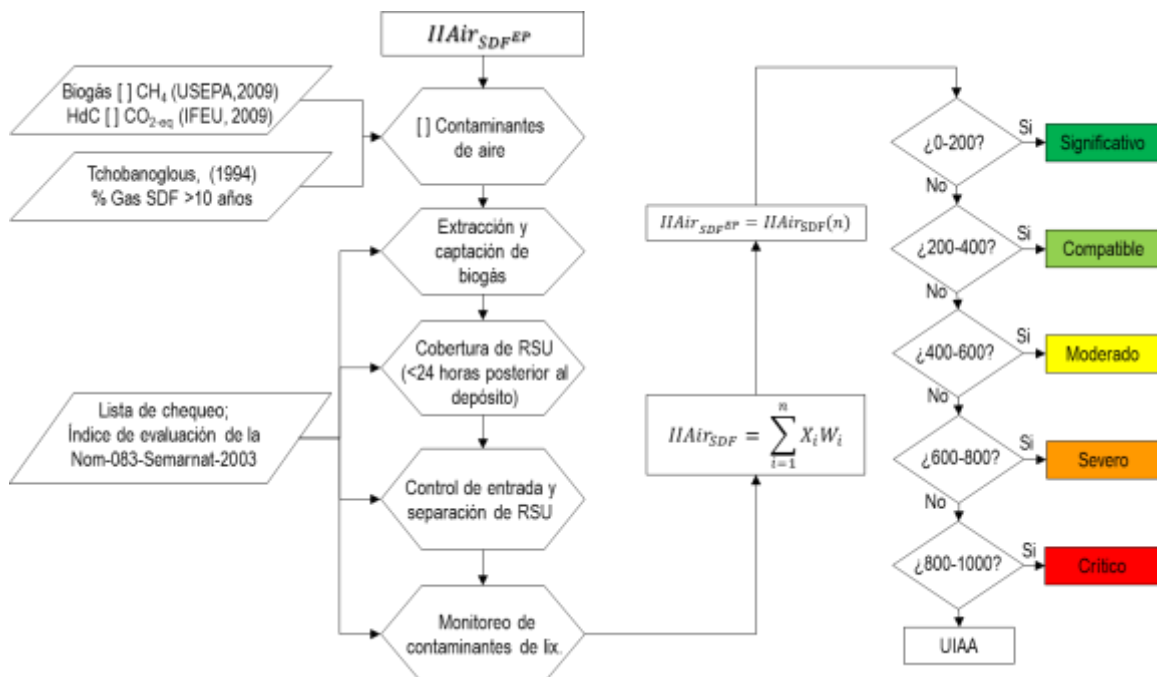


Figura 13. Diagrama de flujo para la aplicación del índice de impacto de aire de SDF en posclausura (elaboración propia).

Flora y Fauna. El Índice de Impacto de Flora y Fauna de SDF en Etapa de Posclausura (IIF_{SDFEP}) se desarrolla sobre la escala de afectación que se basa en la puntuación otorgada sobre la ubicación del SDF; para ello, se realiza el análisis de información espacial diseñada ex profeso para el área de estudio (el proceso para la representación de datos espaciales se describe en el apartado 5.3.3), y se aplica la guía de cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003.

El desarrollo del IIF_{SDFEP} toma como base el índice de Flora y Fauna de Sharma *et al.*, (2008), el cual se modifica para efectos del modelo que se propone con la finalidad de incluir aspectos de la NOM-083-SEMARNAT-200, así como la inclusión de una escala de gravedad directa para evaluar la condición de posclausura, donde el valor 0 representa un óptimo ambiental y un valor de 1000 $UIAA$ representa la máxima afectación. La puntuación de afectación depende del juicio de quien aplica el modelo de IIF_{SDFEP} una vez realizado el análisis de todas las variables que integran el índice. En la Figura 14, se presenta el diagrama de flujo y se muestra la información de preparación para la puntuación que se otorga al SDF que se evalúa, en función del análisis visual, el análisis de cartografía y listas de chequeo.

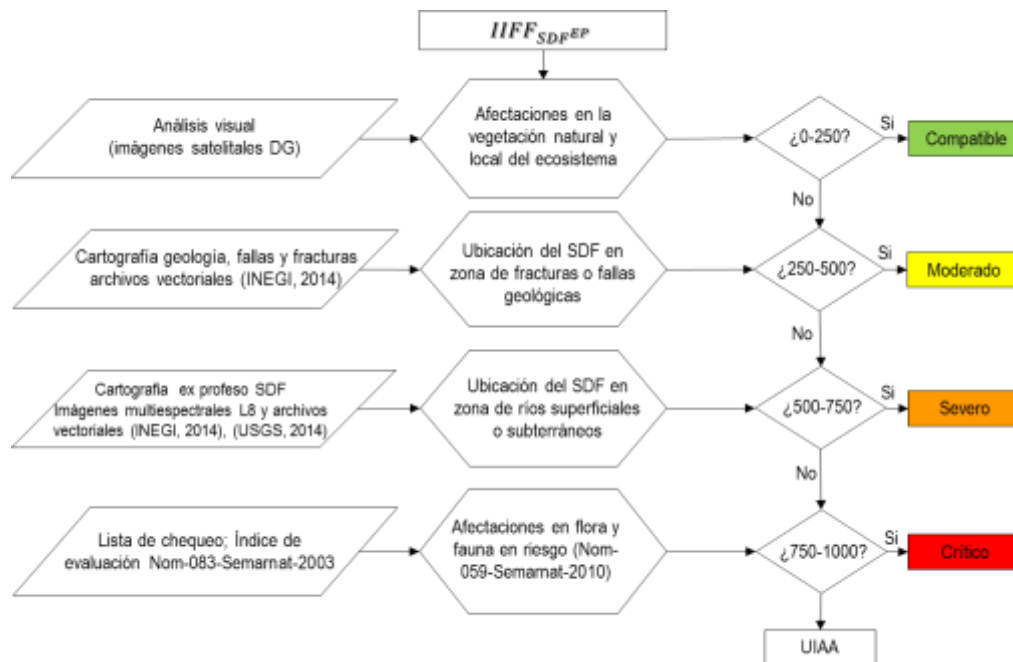


Figura 14. Diagrama de flujo para la aplicación del índice de flora y fauna de SDF en posclausura (elaboración propia).

Socioeconómico. El Índice de Impacto Socioeconómico de SDF en Etapa de Posclausura $IISe_{SDFEP}$ se desarrolla basado en el índice de estética propuesto por Meesa y Alappat, (2006). El índice desarrollado para el modelo de EIA_{SDFEP} , integra aspectos paisajísticos y del medio humano, tomando como base la afectación del suelo mediante el análisis de las imágenes multiespectrales Landsat 8 del Sistema Geológico de los Estados Unidos.

La valoración del índice socioeconómico integra visitas de campo para la georreferenciación del área de estudio, y para el reconocimiento de divisiones fisiográficas a fin de realizar la interpretación de imágenes multiespectrales mediante la composición de bandas para la cartografía de suelo, basada en el análisis fisiográfico que describe la delimitación de contornos y elementos relacionados con la morfología general del terreno (forma de relieve, pendiente, patrón de drenaje, cobertura vegetal, uso de suelo o de impacto).

El análisis sinóptico para el impacto del suelo del SDF que se evalúa, incluye la digitalización referenciada a un sistema de posicionamiento en coordenadas geográficas y UTM para observar los límites y características del suelo transferidos al mapa base (mapa topográfico). En función de los rasgos observables característicos de los procesos que ocurren en la superficie del suelo de un SDF, se otorga una valoración que se integra a la Ecuación (10) y posteriormente a la Ecuación (11) para obtener la gravedad del impacto. En la Figura 15, se presenta el diagrama de flujo en el que se plantean los datos de entrada para la preparación y aplicación del $IISe_{SDFEP}$.

$$IISe_{SDF} = \sum_{i=1}^n S_i W_i \quad \text{Ecuación 10.}$$

$$IISe_{SDFEP} = IISe_{SDF}(n) (W_1) \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

S_i : Puntuación de afectación de los indicadores del medio socioeconómico.

W_i : Factor de ponderación del parámetro socioeconómico.

n : Número de parámetros para los que se dispone de información.

$IISe_{SDF}$: Índice de impacto socioeconómico, calculado con la Ecuación (10).

$IISe_{SDFEP}$: Escala de gravedad del medio socioeconómico, calculado con la Ecuación (11).

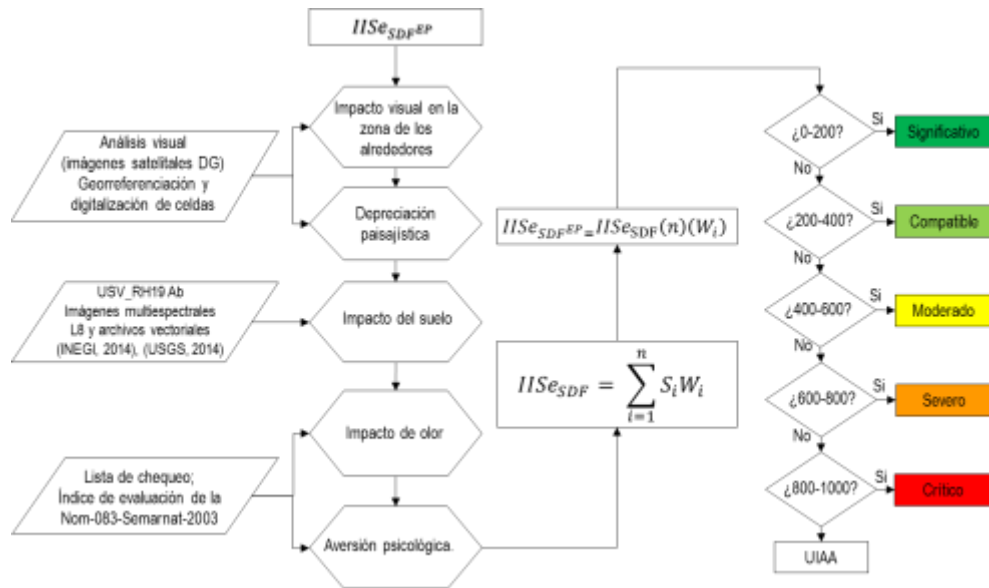


Figura 15. Diagrama de flujo para la aplicación del índice socioeconómico de SDF en posclausura (elaboración propia).

Representación del impacto ambiental. El impacto ambiental total obtenido mediante la aplicación de los índices que anteriormente fueron descritos, se muestra a través de la representación de datos espaciales mediante técnicas asistidas por sistemas de información geográfica. La visualización del impacto ambiental, integra la recopilación e interpretación de datos básicos existentes del área de estudio a través de información procedente de fuentes nacionales sobre topografía, clima, geología, vegetación, uso del suelo, hidrología, suelo y fotografías aéreas del área de estudio para visualizar los cambios ocurridos.

Para la elaboración de premapas a objeto de tener una primera aproximación de la representación del impacto ambiental, se crearon curvas de nivel a un metro de distancia en el programa de información geográfica surfer, se elaboraron mapas base de corte topográfico y un modelo 3D ex profeso para el área de estudio. Posteriormente, se agregaron las celdas y el perímetro del SDF previa digitalización referenciada, se diseñaron tablas de atributos con campos numéricos en el programa ArcMap para introducir los valores totales obtenidos de la aplicación y agregación de los índices de agua, aire, flora y fauna y socioeconómico, se realizó una clasificación de campos según el valor del impacto en *UIAA* y se generó el mapa de salida con resolución de 800 puntos por pulgada.

5.3.1. Determinación de la huella de carbono en el manejo de RSU

Esta etapa metodológica se realizó para proveer información al modelo de EIA_{SDFEP} . Se utilizó la herramienta MRS-GEI para el cálculo de las emisiones de GEI en el manejo de RSU, desarrollada en el año 2009 con fondos del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania. La herramienta se basa en Excel como una hoja de cálculo en la que se cuantifican las emisiones totales de GEI entoneladas anuales de CO_{2-eq} . En la Figura 16, se presenta el diagrama de flujo para el cálculo de las emisiones ocasionadas por el manejo de los RSU, y en adelante se describen las etapas para la determinación de la Huella de Carbono (HdC).

Cantidad, composición, reciclaje y disposición de RSU. Se insertaron datos de entrada sobre cantidad, composición y características de los residuos en las hojas de trabajo de la herramienta MRS-GEI. La generación de RSU se estimó considerando el número de población total del municipio de Acapulco de Juárez, Guerrero (INEGI, 2010), y el índice de generación per cápita por día del estado de Guerrero, este índice contempla el ingreso, educación y actividad productiva (SEMAREN, 2009). Los porcentajes de residuos reciclados como vidrio, papel, cartón, plásticos, metales, aluminio, textiles y residuos orgánicos así como el tipo de disposición de los residuos restantes se obtienen de las tasas de reciclaje incluidas en el diagnóstico básico para la gestión integral de residuos (SEMARNAT, 2012).

Cálculo de la huella de carbono. Se definieron valores por default recomendados por el IPCC, (2006) y el IFEU, (2009) para el cálculo de las emisiones de GEI en países en vías de desarrollo. El cálculo se basa en la estimación de residuos per cápita en kilogramos por día (kg/cap/día) y año (kg/cap/a), y la generación total de RSU en toneladas anuales (ton/año) en combinación con el número de habitantes calculado para 365 días como factor de conversión. En la Tabla 18, se muestra la información específica para la composición de RSU y los porcentajes de residuos húmedos para Economías de Bajos Ingresos (EBI). Las características de los residuos que se generan en el municipio, se puntualizan siguiendo la regla general del contenido de agua inferior al 40% como bajo y superior al 40% como alto.

Tabla 18. Valores por default para la composición de RSU y contenido de carbono para EBI.

Componentes	Default EBI	Carbono total (% de residuos húmedos)
Residuos de comida	41.9%	15.2%
Residuos de jardines y parques	14.0%	19.6%
Papel, cartón	9.3%	41.4%
Plásticos	6.5%	75.0%
Vidrio	1.9%	0%
Metales ferrosos	1.9%	0%
Aluminio	0.5%	0%
Textiles	3.3%	40.0%
Hule, piel	1.9%	56.3%
Pañales	4.0%	28.0%
Madera	6.0%	42.5%
Residuos minerales	3.0%	0.0%
Otros	5.8%	2.7%

Fuente: (IFEU, 2009).

La Tabla 19, contiene el valor calorífico en Megajoule por Kilógramo (MJ/Kg) basado en la composición y el contenido de agua de los residuos que se generan en el área de estudio. El contenido de agua alto se considera para la fracción orgánica y la fracción no especificada (otros) porque estas dos fracciones suelen ser las que más varían en el contenido de agua. Otras fracciones de residuos como papel/cartón, plásticos, vidrio, metales y textiles suelen tener un contenido de agua relativamente estable y se pueden especificar con un valor calorífico fijo. El factor de emisión que se utiliza para la estimación de la HdC se selecciona por default para la red eléctrica del país en relación a la importancia de las emisiones de metano de los SDF y las futuras emisiones generadas durante la degradación de los RSU (607 g CO₂-eq/kWh).

Tabla 19. Valor calorífico de fracciones de residuos.

Fracción	Valor Calorífico (MJ/Kg residuo húmedo)
Residuos orgánicos, bajo contenido de agua	4
Residuos orgánicos, alto contenido de agua	2
Papel	11.5
Plásticos	31.5
Vidrio	0.0
Metales	0.0
Textiles, hule, piel	14.6
Madera	15.0
Residuos minerales	0.0
Otros bajo contenido de agua	8.4
Otros alto contenido de agua	5.0

Fuente: (IFEU, 2009).

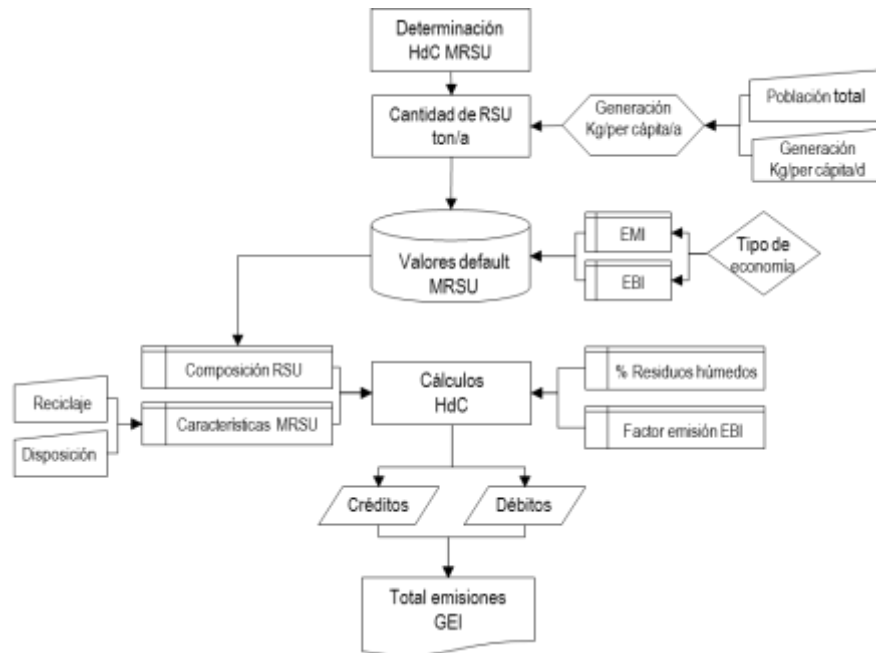


Figura 16. Diagrama de flujo para la determinación de la HdC en el manejo de los RSU (elaboración propia).

5.3.2. Generación de biogás en el SDF de RSU

La estimación del potencial de generación del biogás generado en el área de estudio, se realiza con la finalidad de suministrar información al modelo de EIA_{SDFEP} ; para tal efecto, se utiliza el Modelo Mexicano de Biogás (MMB) versión 2.0, desarrollado por la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés USEPA) en el año 2009. Este modelo se basa en una hoja de cálculo de Excel para estimar la generación de biogás mediante la Ecuación (12).

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left[\frac{M_i}{10} \right] (e^{-kt_{ij}})(MCF)(F) \quad \text{Ecuación 12.}$$

Donde:

Q_{LFG} = Es el flujo de biogás máximo esperado en $m^3/año$.

i = Es el incremento en tiempo de 1 año.

n = Es el año del cálculo (año inicial de disposición de RSU).

j = Es el incremento de tiempo en 0.1 años.

k = Es el índice de generación de metano ($1/año$).

L_0 = Es la generación potencial de metano en m^3/Mg .

M_i = Es la masa de residuos dispuestos en el año i (Mg).

t_{ij} = Es la edad j de la masa de residuos M_i dispuestas en el año i (años decimales).

MCF = Es el factor de corrección de metano.

F = Es el factor de ajuste por incendios.

La Ecuación (12), asume un período de seis meses entre la disposición de los RSU y la generación de biogás, después de seis meses asume que la generación de biogás desciende exponencialmente a medida que la fracción orgánica es consumida, también considera que el año de generación máxima ocurre en el primer año de clausura (esto depende del índice de disposición en los años anteriores al cierre).

Los resultados obtenidos proyectan la generación de RSU en toneladas anuales (ton/año), la generación y recuperación de biogás se estima en metros cúbicos por hora (m³/hr), la eficiencia de captura en porcentaje, la capacidad máxima de energía en megavatios (MW), y la reducción de emisiones de GEI en toneladas anuales de CO₂-eq para la situación actual (*Status Quo*). La estimación se realiza a través de datos específicos que se introducen al modelo, como la cantidad de residuos depositados anualmente, el año de apertura y clausura, la precipitación promedio anual y las prácticas de diseño y manejo del SDF; así como valores por default para el índice de generación de metano (k), la generación potencial de metano (L_0).

Valores del índice de generación de metano (k). La Tabla 20, muestra las categorías de degradación de los residuos orgánicos que determinan los valores del índice de generación de metano (k) en función del contenido de humedad, la disponibilidad de nutrientes para las bacterias generadoras de metano, el pH, y la temperatura.

Tabla 20. Índice de degradación de residuos orgánicos.

Grupos de residuos orgánicos	Características	Biodegradación
Degradación rápida (DR)	Residuos alimenticios y otros orgánicos	1 año
Degradación moderadamente rápida (DMR)	Papel higiénico y residuos de parques y jardines	2 años
Degradación moderadamente lenta (DML)	Papel, cartón y textiles	5 años
Degradación lenta (DL)	Madera, caucho, piel, huesos y paja	10 años

Fuente: (USEPA, 2009).

La Tabla 21, contiene los valores por *default* para los factores de generación de metano. El contenido de humedad está determinado por el tipo de clima, el cual se clasifica en cinco regiones (sureste, oeste; centro; noreste y noroeste) según la precipitación promedio anual de las ciudades más grandes de la República Mexicana; la disponibilidad de nutrientes para las bacterias generadoras de metano y el pH se

basan en el tiempo de degradación de los residuos; la temperatura se considera constante debido al calor generado por las bacterias anaeróbicas.

Tabla 21. Índice de generación de metano (k) (1/año).

Factores	Sureste	Oeste	Centro	Noreste	Noroeste
DR	0.300	0.220	0.160	0.150	0.100
DMR	0.130	0.100	0.075	0.070	0.050
DML	0.050	0.040	0.032	0.030	0.020
DL	0.025	0.020	0.016	0.015	0.010

Fuente: (USEPA, 2009).

Valores para la generación potencial de metano (L_0). La Tabla 22, contiene los valores por default para la generación potencial de metano (L_0), estos valores indican la cantidad total de gas metano que podría producirse por una tonelada de residuos degradada que depende casi exclusivamente de la caracterización de los residuos.

Tabla 22. Valores por default para la generación potencial de metano (L_0) (m^3/ton).

Factores	Sureste	Oeste	Centro	Noreste	Noroeste
DR	69	69	69	69	69
DMR	115	126	138	138	149
DML	214	214	214	214	214
DL	202	202	202	202	202

Fuente: (USEPA, 2009).

Factor de corrección de metano (MCF). La Tabla 23, contiene el factor de corrección de metano (MCF) que consiste en un ajuste de estimación para la generación de biogás, el cual considera el grado de degradación anaeróbica de los residuos en función de la profundidad y las prácticas de manejo del SDF.

Tabla 23. Factor de corrección de metano (MCF).

Manejo del SDF	Profundidad <5 metros	Profundidad >5 metros
Sin manejo	0.4	0.8
Con manejo	0.8	1.0
Semi-aeróbico	0.4	0.5
Condición desconocida	0.4	0.8

Fuente: (USEPA, 2009).

Cálculo de la eficiencia de captura. El modelo mexicano de biogás calcula la eficiencia de captura de biogás en el SDF, basándose en los siguientes factores: cobertura del sistema de captura, profundidad de los residuos, tipo de cobertura y

extensión, recubrimiento inferior, compactación de residuos, tamaño del área de disposición activa y manejo de lixiviados. La información para los cálculos se introduce a través de respuestas que describen las condiciones que afectan la eficiencia de captura, algunos datos estiman las condiciones futuras para el año que se pretende implementar el sistema de captura del biogás; en función de las respuestas proporcionadas, el modelo selecciona los valores por defecto para k , L_0 , MCF , para el factor de ajuste por incendios y para la eficiencia de captura. En la Figura 17, se presenta el diagrama de flujo del proceso realizado para la determinación de la generación del biogás (k) para el sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos del municipio de Acapulco de Juárez, México.

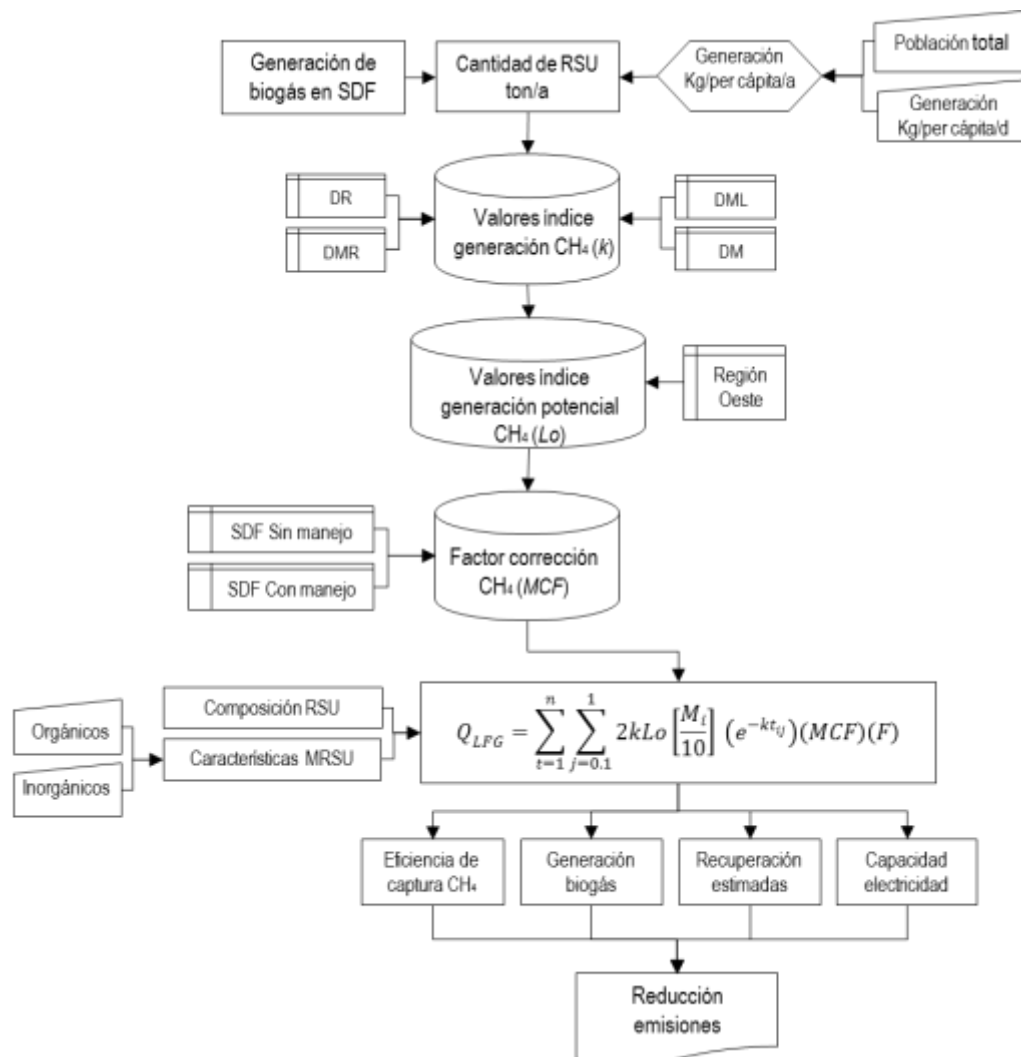


Figura 17. Diagrama de flujo para la estimación de generación y recuperación de biogás (elaboración propia).

5.3.3. Descripción de los factores ambientales de la zona de estudio

Esta etapa metodológica se realizó para describir los factores ambientales sobre los que el SDF genera alteraciones y para aportar información objetiva a la puntuación del modelo de EIA_{SDF}^{EP} . En este sentido, se consultaron datos geográficos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) mediante temas, fuentes y proyectos, servicios y productos con desagregación y cortes espaciales, para obtener información de censos, cuadernos y anuarios estadísticos con desglose geográfico delegacional y municipal.

Se descargaron datos vectoriales de tipo *shape* compuestos por entidades de puntos, líneas y polígonos que integran el conjunto topográfico de datos espaciales con clave E14C57 en escala 1:50,000 para los temas de geología, edafología, climatología, uso de suelo, vegetación y datos de la red hidrológica con clave 19Aa, 19Ab, 19Ac, 20Df, 20Ea y 20Ee. Se adquirieron imágenes multiespectrales ópticas del Servicio Geológico de los Estados Unidos por sus siglas en inglés USGS, previo registro con información correspondiente al proyecto de investigación. En la Tabla 24, se describen los criterios para la selección y la descarga de imágenes multiespectrales Landsat-8 desde el servidor del USGS a través del visualizador Earth Explorer.

Tabla 24. Criterios de selección de imágenes Landsat-8.

Descripción de datos	
Tipo de polígono	WRS2
Marcas de posición Path/Row	Mosaico de coordenadas 17.34442, -99.43382
Rango de datos	Enero 2015 - Junio 2015
Tipo de información	Archivo de Landsat L8 OLI/TIRS
Formato de descarga	Nivel 1 GeoTIFF

Fuente: Ormsby, (2004); DGOT, (2014); INEGI, (2006a); INEGI, (2006b); Allen, (2011); Hughett, (2012).

Las técnicas de pre-procesamiento para introducir y almacenar los datos geográficos, se realizaron en los programas y equipos descritos en la Tabla 25. La clasificación y procesamiento de la información se realizó en el Sistema de Información Geográfica ArcGis Desktop versión 9.3-ArcInfo, mediante las extensiones: 3D Analyst Tools, Spatial Analyst, Data Interoperability, Geostatistical Analyst, Conversion, Cartography. En la Figura 18, se presenta el diagrama de flujo del proceso metodológico para la representación de datos espaciales.

Tabla 25. Programas y equipos para el procesamiento y almacenamiento de datos geográficos.

Equipo/Programa	Utilidad	
Software	SIG ArcGis Desktop 9.3-ArcInfo	Vectorización, manejo, análisis, salida e interpretación de datos.
	Google Earth y Google Maps - ©2014	Digitalización de datos
Hardware	Gps GLONASS-Garmin Etrex 10.	Captura de datos en campo
	Intel Celeron 1.70 GHz, 2.00 GB RAM, plataforma Windows XP	Procesamiento y generación de datos

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 26, se describe el proceso para la unión de bandas espectrales y composición de imágenes multispectrales bajo el protocolo de ortorectificación de imágenes satelitales Landsat-8 desarrollado por la Dirección General de Ordenamiento Territorial (DGOT) del Ministerio del Ambiente de Lima, Perú.




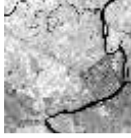
Tabla 26. Proceso de unión de bandas Landsat-8.

Tipo de archivo	Descripción
De entrada	Las bandas sueltas que serán unidas en una sola Imagen, se seleccionan de manera única, consecutiva y ordenada para agregarlas a la ventana de composición a través de la extensión Analyst Tools-ArcGis 9.3.
De salida	Se selecciona la extensión donde se guardará el archivo utilizando el nombre de la Imagen de resultado. Terminado este paso se obtiene una imagen multispectral.

Fuente: (DGOT, 2014).

En la Tabla 27, se describen las características y propiedades de las bandas espectrales que conforman las imágenes Landsat-8.

Tabla 27. Descripción de las bandas espectrales Landsat-8.

	<p>Banda 1. (0.52-0.90 μm, azul-verde). Es la banda más "ruidosa" ya que es susceptible a la dispersión atmosférica, la longitud de onda corta que posee penetra mejor que las otras bandas. Se utiliza para mapear ecosistemas acuáticos, para diferenciar entre el suelo y la vegetación.</p>
	<p>Banda 2. (0.450-0.515 μm, verde). Tiene cualidades similares a la banda 1 pero no tan extremas, coincide con la longitud de onda del color verde. Se utiliza para distinguir la vegetación sana, para diferenciar los tipos de rocas y para la valorar la calidad del agua.</p>
	<p>Banda 3. (0.525-0.600 μm, rojo). Dado que la vegetación absorbe casi toda la luz, se le llama la banda de absorción de la clorofila. Se utiliza para distinguir la clasificación de la cubierta vegetal, la agricultura y el uso de suelo.</p>
	<p>Banda 4. (0.630-0.680 μm, rojo). Debido a que el agua absorbe casi toda la luz, en la longitud de onda que esta banda posee aparecen los cuerpos de agua oscuros; esto contrasta con la reflectancia luminosa para el suelo y la vegetación por lo que se utiliza en la identificación de la interfase agua/tierra para mapas geológicos y geomorfológicos.</p>



Banda 5. (0.845-0.885 μm , infrarrojo medio).

Esta banda es sensible a la humedad. Se utiliza para distinguir la vegetación y la humedad del suelo, también se utiliza en la diferenciación de las nubes y la nieve.



Banda 6. (1.560-1.660 μm , infrarrojo térmico).

Es una banda térmica que puede utilizarse para medir la temperatura superficial, el estrés térmico de la vegetación, las corrientes marinas y las propiedades termales del suelo.



Banda 7. (1.560-1.660 μm , infrarrojo medio).

Esta banda también se utiliza para valorar la humedad de la vegetación, así como para el mapeo de suelo y la geología.

Fuente: (RS/GIS, 2008); (DGOT, 2014); (USGS, 2015).

En la Tabla 28, se muestran las combinaciones de las bandas individuales Landsat-8 en colores rojo, verde, azul (RGB) para la composición de imágenes multiespectrales del área de estudio.

Tabla 28. Composición de imágenes multiespectrales.



3,2,1 RGB

Esta composición de color es lo más cercano al color verdadero que se puede obtener de una imagen Landsat. Es útil para el estudio de los hábitats acuáticos. La desventaja de este conjunto de bandas es que tienden a producir una imagen borrosa.



4,3,2, RGB

Esta composición de bandas tiene cualidades similares a la combinación 3, 2, 1. Sin embargo, dado que incluye el canal infrarrojo cercano (banda 4) los límites de tierra y agua son más claros, y diferentes tipos de vegetación son más evidentes.



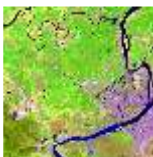
4,5,3 RGB

Esta combinación es más nítida que las dos anteriores, ya que las dos bandas de longitud de onda más cortas (bandas 1 y 2) no están incluidas. Con este conjunto de bandas pueden definirse los tipos de vegetación, la interfaz tierra/agua y las variaciones en el contenido de humedad.



7,4,2 RGB

Esta composición tiene propiedades similares a la combinación 4, 5, 3 con la mayor diferencia del verde que corresponde a la vegetación. Esta combinación de bandas conforma el mosaico Landsat global creado por la NASA.



5,4,1 RGB

Esta combinación de bandas tiene propiedades similares a la combinación 7, 4, 2. Sin embargo, es más precisa en la visualización de la vegetación agrícola.

Fuente: (RS/GIS, 2008); (DGOT, 2014); (USGS, 2015).

Los mapas temáticos de clima, uso de suelo, vegetación, vialidades e hidrología generados con las imágenes satelitales Landsat-8 y archivos vectoriales del conjunto de datos espaciales del municipio, se interpretaron utilizando las guías de cartografía contenidas en la Tabla 29.

Tabla 29. Guías para la interpretación de cartografía.

Guías para la interpretación de cartografía	Escala	Serie	Año
Uso del suelo y vegetación	1:250 000	IV	2012
Edafología	1:250 000	III	2015
Fotografía aérea			2005
Climatológica			2005
Batimétrica			2008
Geológica			2005

Fuente: (INEGI, 2005a); (INEGI, 2005b); (INEGI, 2005c); (INEGI, 2008); (INEGI, 2012); (INEGI, 2015).

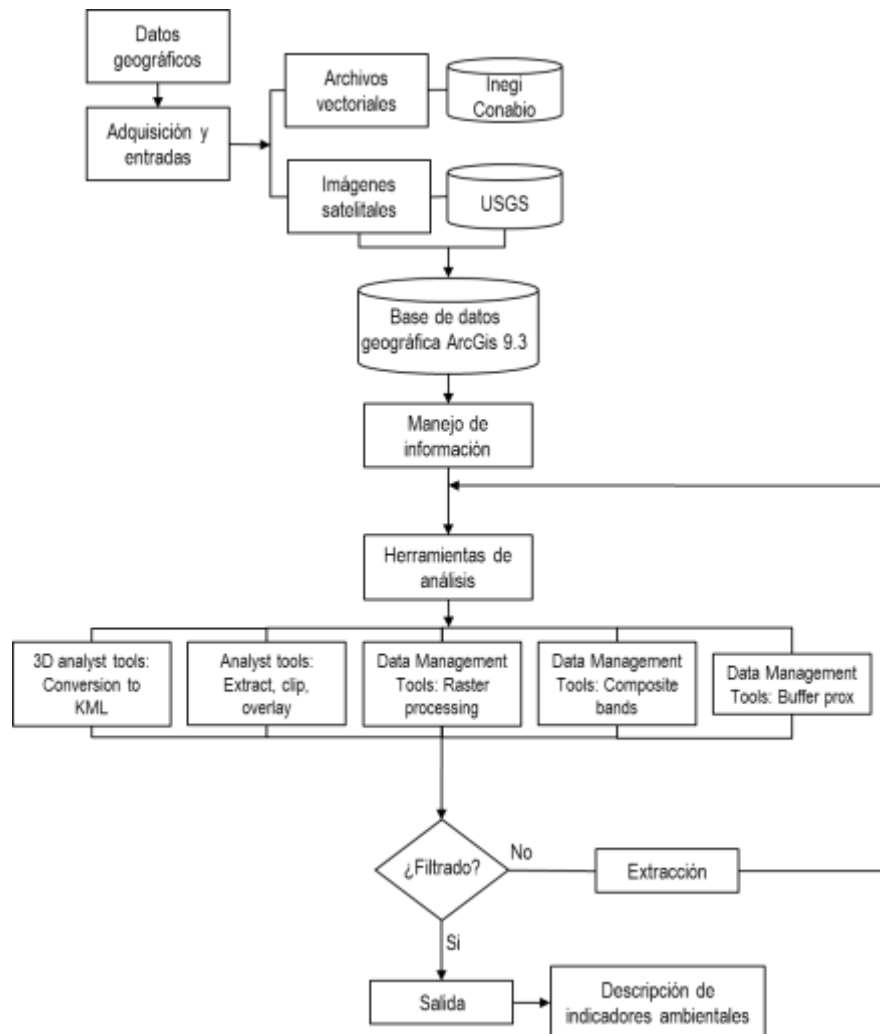


Figura 18. Diagrama de flujo para la descripción de factores ambientales a través de SIG (elaboración propia).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Análisis de métodos de EIA aplicados en SDF de RSU

La revisión bibliográfica realizada en las bases de datos científicas, identificó las investigaciones de Barton *et al.*, (1996); Pastakia & Jensen, (1998); Ahmad & Wood, (2002); Berrón, (2002); Gómez-Barbero & Berbel-Vecino, (2003); Costi *et al.*, (2004); Chacare *et al.*, (2006); Winkler & Bilitewski, (2007); Al-Khatib *et al.*, (2010); Zhang, Tan & Gersberg, (2010); Zhang, Singh & Gersberg, (2010); Mondal *et al.*,(2010); Milke, (2011); Phillips *et al.*, (2011); Pérez, (2011); Pires, Martinho & Chang, (2011); Omar *et al.*, (2012); Cristina, (2013); Zhang, Kornov & Christensen, (2013); Marcoux *et al.*, (2013); Milke, (2013); Takatsuki, (2013); Butt *et al.*, (2014); Laurent *et al.*, (2014); Yang *et al.*, (2014), Suthar & Sajwan, (2014); Victor & Agamuthu, (2014); Dangi *et al.*, (2015); estas investigaciones establecen diferentes grados en el desarrollo de los métodos evaluación de impacto ambiental. No obstante, se analizaron las aplicaciones de Mondal *et al.*, (2010); Omar *et al.*, (2012) y Yang *et al.*, (2014) ya que resumen las tendencias en la práctica de métodos de EIA en sitios de disposición final de RSU.

En la Tabla 30, se describen las etapas que deben incluir los métodos de EIA, siendo las más importantes la identificación y valoración de impactos; a partir de la valoración de impactos se desarrolla la justificación de la solución, y una vez seleccionada la mejor alternativa ambientalmente viable, se diseñan las medidas correctoras y preventivas con la finalidad de reducir la gravedad de los impactos identificados; para finalmente, incluir un programa de vigilancia ambiental a fin de comprobar que las medidas seleccionadas se cumplan.

Tabla 30. Etapas del estudio de evaluación de impacto ambiental.

Etapas	Descripción
Análisis de las alternativas del proyecto	El objetivo del análisis de las alternativas del proyecto, es identificar las causas posibles de impacto, lo que se conoce como acciones del proyecto. Es decir las tareas y elementos que pueden alterar los aspectos del ambiente al incidir sobre ellos.
Inventario ambiental	El objetivo principal del inventario ambiental es caracterizar y describir el entorno en el que sitúa el proyecto considerando la repercusión y los posibles efectos que el proyecto pueda producir sobre los elementos del ambiente.

Identificación y valoración de impactos	La identificación y valoración de impactos es la particularidad sobre la que se desarrolla la evaluación de impacto ambiental. En esta etapa se enlistan los impactos significativos a estudiar, se valora la gravedad y efectos que generará el proyecto.
Justificación de la solución escogida	La justificación ambiental de la solución escogida, parte de la visión global de todas las alteraciones o impactos del proyecto con la finalidad de elegir la alternativa “más ambiental” para generar la alteración de menor gravedad sobre el entorno.
Medidas preventivas y correctoras	Las medidas preventivas y correctoras tienen como objetivo la mejora del proyecto ya que incluye medidas para disminuir la gravedad de los impactos negativos.
Programa de vigilancia ambiental	El programa de vigilancia ambiental, se realiza para dar seguimiento a la evolución de los impactos, para monitorear las medidas de reducción durante la realización del proyecto. Se desarrolla en función de los indicadores de impacto y de los valores admisibles para dichos indicadores.
Documento de síntesis	El documento de síntesis es el resumen del estudio y de su desarrollo para la información pública a la que se somete el estudio de impacto. El resumen debe señalar las medidas adoptadas y la valoración ambiental sobre las medidas tomadas para corregir los impactos negativos.

Fuente: (Español, 1995).

La identificación de impacto, consiste en aplicar sistemas que permitan determinar el conjunto de impactos significativos que se han de estudiar, según la calidad intrínseca del factor afectado. Esta fase es fundamental en el sentido de que establece las bases de todo el desarrollo de la evaluación. Si en esta fase se omite un impacto no se valorará, ni se seleccionaran alternativas correctoras para esta afectación. La valoración del impacto, consiste básicamente en establecer la gravedad de cada impacto considerando la gravedad que tendría cada afectación y el proyecto en su conjunto. Para ello, se requiere el establecimiento de un criterio de gravedad y un sistema de aplicación mediante el diseño de fórmulas matemáticas que incorporen los planteamientos sociales establecidos sobre los distintos recursos ambientales y su deterioro. En la Tabla 31, se presentan los métodos utilizados en el desarrollo de la identificación, valoración, agregación, comparación y selección de alternativas, los cuales combinan criterios científicos de base objetiva, con criterios sociales de base subjetiva.

Tabla 31. *Métodos de identificación y valoración de impactos.*

Etapa	Metodología
Identificación de impactos	Listas de control
	Matrices de identificación acción/factor
	Diagramas de redes
	Sistemas elaborados de identificación
Valoración de impactos	Sistematización del valor de la gravedad del impacto
	Sistemas de predicción de impactos

	Criterios de valoración
	Sistemas de valoración de la importancia
	Sistemas de comparación desagregada
Agregación, comparación y selección de alternativas	Sistema de orden de comparación
	Sistemas de selección semiagregada
	Sistema de selección de agregación sintética

Fuente: (Español, 1995).

El análisis realizado considera los estudios de Mondal *et al.*, (2010); Omar *et al.*, (2012) y Yang *et al.*, (2014) para dar respuesta a la revisión de métodos de EIA con la finalidad de establecer una base de información a partir de la experiencia de los mecanismos de evaluación para la posterior implementación en el área local. Estos artículos seleccionados, representan las tendencias en la práctica de métodos de EIA aplicados en SDF de residuos sólidos sobre los cuales descansa la esencia de la evaluación de impacto ambiental. Mondal *et al.*, (2010), utilizan la Evaluación Rápida de Impacto Ambiental (RIAM) para la EIA de SDF en Varanasi. La metodología RIAM, se basa en una definición estándar de los criterios de evaluación a través de una matriz acción/factor y criterios de apreciación para la identificación y valoración de impactos.

En la Tabla 32, se presentan las tendencias en la práctica de métodos de EIA aplicados en SDF de residuos. Omar *et al.*, (2012), evalúan el impacto ambiental de un SDF en el entorno urbano de Malasia, para la identificación de impactos emplean listas de control con la finalidad de identificar el índice de riesgo a través del software desarrollado por la Protección Civil de España (CIRMA), para la valoración de impactos realizan una estimación de importancia utilizando el modelo de Fuerzas Motrices (DPSIR) y el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ejecutado en el software GaBi 4.

El estudio de Yang *et al.*, (2014), emplea el método de ACV para evaluar los impactos ambientales potenciales asociados con las emisiones durante la etapa de construcción y operación de los rellenos sanitarios en China. Para la identificación de impactos utilizan sistemas elaborados y para la valoración de impactos definen criterios de gravedad mediante ecuaciones de agregación.

Tabla 32. Tendencia en la práctica de métodos de EIA aplicados en SDF de residuos.

Etapas	EIA de SDF, Varanasi	EIA de SDF, Malasia	EIA de SDF, China
Autores	Mondal <i>et al.</i> , (2010)	Omar <i>et al.</i> , (2012)	Yang <i>et al.</i> , (2014)
Identificación de impactos	Identifican los impactos de acuerdo a los criterios que son de importancia para la condición, y de valor para la situación.	Utilizan listas de control de aspectos ambientales: calidad del aire, agua, toxicidad de lixiviados, nivel de ruido y tráfico.	Identifican las cargas ambientales asociadas con las emisiones utilizando sistemas elaborados.
Valoración de impactos	El valor atribuido a los impactos se determina a través de fórmulas simples para puntuaciones de los componentes individuales y se realiza una agregación de componentes ambientales: Físico-químicos, Biológico/ecológicos y Sociológico/culturales.	La valoración de riesgo y salud se determina utilizando el software CIRMA. Para la valoración de riesgo, transporte y receptores vulnerables se utiliza el modelo DPSIR basado en la descripción de los factores, presiones, estados, impactos y respuestas a partir de una herramienta para describir los ecosistemas naturales bajo el concepto de fuerzas motrices. Se utiliza el ACV para comparar el comportamiento ambiental.	Plantean la gravedad del impacto y cuantifican la energía y las emisiones a partir de la fabricación y el consumo de los materiales manejados bajo la aplicación de fórmulas de cálculo. Para la comparación de las cargas ambientales y los potenciales de impacto en SDF dividen sus referencias de normalización individuales para obtener una unidad unificada.

Fuente: Elaboración propia con información de Mondal *et al.*, (2010); Omar *et al.*, (2012); Yang *et al.*, (2014).

En la Tabla 33, se presentan los métodos de EIA empleados en los estudios analizados para la identificación y valoración de los impactos. El método de análisis de ciclo de vida utilizado en países desarrollados durante las etapas de construcción y operación de rellenos sanitarios, se basa en cifras de emisión para la fabricación, el consumo de materiales y energía de las normas aplicables para la construcción de SDF, y arroja resultados de consumo de materiales y energía que podrían utilizarse directamente como datos de ACV en los países en desarrollo con condiciones similares ya que la información utilizada pertenece a los estándares industriales, pero se deberá declarar la frontera del sistema y contar con la información correcta para evitar la mala aplicación.

EL software CIRMA, a través de una base de datos identifica las características de compuestos que están disponibles en todo el límite de estimación, esta aplicación informática trabaja principalmente en cuatro elementos: fuente de riesgo, sistemas de control primaria, sistemas de transporte y los receptores vulnerables para la evaluación del riesgo ambiental dentro de la evaluación de impacto ambiental.

El modelo DPSIR es un marco causal para el análisis de las interacciones entre la sociedad y el ambiente. Se basa en la descripción de los factores, presiones, estados, impactos y respuestas por sus siglas en inglés DPSIR, se ha desarrollado a partir de una herramienta para describir los ecosistemas naturales bajo estrés del entorno humano denominado “Fuerzas Motrices”.

La matriz rápida de evaluación de impacto ambiental ofrece medidas a una serie de críticas que han afectado a los métodos de EIA desde su aceptación casi universal como una parte necesaria del proceso de planificación del desarrollo. Estas críticas se han centrado en gran medida en la subjetividad de muchos métodos de evaluación y la invalidez para proporcionar un registro simple y transparente. La metodología RIAM proporciona un registro transparente y permanente del proceso de análisis, y genera una organización del procedimiento de EIA que a su vez reduce considerablemente el tiempo empleado en la ejecución.

Tabla 33. Métodos de EIA empleados para la identificación y valoración de impactos.

Estudios revisados	Método de EIA	Identificación de impactos	Valoración de impactos
EIA de SDF en Varanasi (Mondal <i>et al.</i> , 2010)	Matriz Rápida de Evaluación de Impacto Ambiental (RIAM)	Matriz de acción/factor	Planteamiento de los criterios de valoración
EIA de SDF en Malasia (Omar <i>et al.</i> , 2012)	ACV a través del software GaBi 4, Modelo de Fuerzas Motrices DPSIR y software de evaluación de riesgo CIRMA	Listas de control	Planteamiento de valoración/importancia
EIA de SDF en China (Yang <i>et al.</i> , 2014)	Análisis de Ciclo de Vida	Sistemas elaborados	Planteamiento de gravedad del impacto

Fuente: Elaboración propia con información de Mondal *et al.*, (2010); Omar *et al.*, (2012); Yang *et al.*, (2014).

La literatura revisada revela diferentes grados en el desarrollo de los métodos de EIA. confiar en la medida de lo posible en artículos de revistas científicas, que son evaluados críticamente por editores y jueces expertos antes de ser publicados ya que estos sistematizan y profundizan en el tema que desarrollan y son altamente especializadas. Esta revisión de métodos de EIA tomados de revistas científicas y aplicados recientemente en la EIA de sitios de disposición final de RSU brindan una base de información a partir de la experiencia de los mecanismos de evaluación para implementar a través de adecuaciones en un área local.

Los métodos de EIA analizados sugieren variables importantes, estos métodos identifican y cuantifican, a partir de criterios agregados a un total. Existe una sobrevaloración de los planteamientos numéricos, independientemente de cómo hayan sido generados. Por eso, los criterios formulados cuantitativamente se interpretaran inevitablemente como más sólidos, objetivos y precisos que los criterios cualitativos, aunque pueden cuestionarse tanto unos como otros en su grado de aproximación y en su manejo de los valores sociales, sin embargo, la validez de un criterio de valoración radica en su adecuación al caso del impacto que se valora y los argumentos que sustenta esa justificación, de ahí la importancia de elegir un método de EIA en función del carácter del estudio para detallar las afectaciones sobre el medio social y ambiental.

6.2. Análisis de la normatividad en materia de RSU

La evaluación del Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos del estado de Guerrero (PEPGIR), mediante la Evaluación Estratégica Ambiental (EEA), utilizando la Matriz Rápida de Evaluación de Impacto (RIAM), analizó cinco alternativas que se proponen para el manejo de los residuos sólidos urbanos del área de estudio; estas alternativas integran consideraciones ambientales de sostenibilidad para la elaboración de programas estatales de prevención y gestión integral de residuos en una fase temprana del proceso de planificación.

En la Tabla 34, se presentan las alternativas de mejora para el manejo de los residuos sólidos urbanos a nivel local y estatal. Las alternativas propuestas se sustentan en la revisión de la literatura y el análisis de la normatividad aplicable para ofrecer una solución viable considerando el factor económico, el tratamiento de los residuos, la participación social, la vida útil del sitio de disposición final, los impactos y las condiciones ambientales del agua, aire, suelo, flora y fauna, la salud pública, el tipo de tecnología factible de implementar en el área de estudio así como los riesgos ambientales que genera el proceso de tratamiento.

Tabla 34. Alternativas de mejora en el manejo de los RSU.

Alternativas de mejora en el MRS	
A1.	Separación de residuos y ampliación de recolección
A2.	Construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales
A3.	Construcción de plantas de compostaje, reciclaje y producción de biogás
A4.	Plan de inversiones para el mejoramiento de equipos e infraestructura
A5.	Capacitación de la población y trabajadores para el establecimiento del sistema de GIRSU

Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores ambientales que se seleccionaron para la evaluación del PEPGIR se sustentan sobre la base de la revisión bibliográfica, y se consideran integradores de los medios físico (biótico y abiótico), paisajístico y socioeconómico. En la Tabla 35, se presentan 11 indicadores distribuidos en 4 categorías. La categoría de Físico/Químicos contiene 2 indicadores para evaluar el impacto en el agua y aire; la categoría Biológico/Ecológicos incluye 3 indicadores para evaluar los impactos en el suelo, flora y fauna; la categoría Socio/Cultural incluye 3 indicadores para la evaluación del impacto en el ecosistema local y la salud pública, y la categoría Económico/Operacional incluye 3 indicadores para evaluar el impacto en manejo de los residuos.

Los indicadores planteados siguen los principios de evitar o minimizar la generación de RSU, recuperar y reaprovechar los materiales que sean técnicamente posibles y económicamente factibles para establecer fortalezas, debilidades, áreas de oportunidad y tendencias normativas que permitan desarrollar un mejor manejo integral de RSU a nivel local y estatal.

Tabla 35. Indicadores ambientales y categorías para la evaluación rápida de impacto ambiental.

Categorías	Indicadores
Físico/Químicos (FQ)	FQ 1. Reducir la contaminación de aguas superficiales y subterráneas FQ 2.Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos (GEI).
Biológico/Ecológicos (BE)	BE 1. Remediar la contaminación del suelo. BE 2. Reducir los efectos nocivos en la biodiversidad. BE 3. Proteger el paisaje y los recursos naturales.
Socio/Culturales (SC)	SC 1. Proteger el ecosistema local SC 2. Minimizar los impactos ambientales del transporte de RSU. SC 3. Proteger la salud humana.
Económico/Operacionales (EO)	EO 1. Aumentar la inversión en equipos e infraestructura EO 2. Eficientar la gestión de residuos y servicios de monitoreo EO 3. Fortalecer la capacidad institucional en la gestión integral de los RSU.

Fuente: Elaboración propia.

Las Tablas 36, 37, 38, 39 y 40 presentan la integración de la matriz rápida de evaluación de impactos contrastando cada alternativa de la Tabla 34, con cada indicador de cada categoría de la Tabla 35. La integración matricial considera los criterios contenidos en la Tabla 12, en función de los impactos que se generan en el manejo de los RSU. La Ecuación (1), generó las puntuaciones individuales de los criterios del grupo (A), referentes a la importancia para la condición y la magnitud del cambio/efecto, y la Ecuación (2), las puntuaciones individuales del grupo (B), sobre la permanencia, reversibilidad y acumulatividad de los impactos. La Ecuación (3) determinó la puntuación ambiental, contrastando los resultados de la multiplicación de las puntuaciones del grupo (A) y el resultado de la suma de las puntuaciones del grupo (B) para obtener los rangos de bandas contenidos en la Tabla 13.

Tabla 36. Integración matricial: A01. Separación de residuos y ampliación de recolección.

Categorías	Indicadores	ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
Fís/Quím	Reducir la contaminación en aguas superficiales y subterráneas	-14	-B	2	-1	2	2	3
	Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos (GEI)	-21	-C	3	-1	2	2	3
Biol/Ecol	Remediar la contaminación del suelo	-21	-C	1	-3	2	2	3
	Reducir los efectos nocivos en la biodiversidad	-7	-A	1	-1	2	2	3
	Proteger el paisaje y los recursos naturales	-7	-A	1	-1	2	2	3
Soc/Cult	Proteger el ecosistema local	-18	-B	3	-1	1	2	3
	Minimizar los impactos ambientales del transporte de residuos	-6	-A	1	-1	2	2	2
	Proteger la salud pública	6	+A	1	1	2	2	2
Econ/Oper	Aumentar la inversión en capital humano, equipos e infraestructura	6	+A	1	1	2	2	2
	Eficientar la gestión de residuos y servicios de monitoreo	6	+A	1	1	2	2	2
	Fortalecer la capacidad institucional en la gestión integral de RSU	6	+A	1	1	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Integración matricial: A02. Construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales.

Categorías	Indicadores	ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
Fís/Quím	Reducir la contaminación en aguas superficiales y subterráneas	-28	-C	2	-2	2	2	3
	Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos (GEI)	-21	-C	3	-1	2	2	3
Biol/Ecol	Remediar la contaminación del suelo	-16	-B	1	-2	2	3	3
	Reducir los efectos nocivos en la biodiversidad	-7	-A	1	-1	2	3	2
	Proteger el paisaje y los recursos naturales	-6	-A	1	-1	2	2	2
Soc/Cult	Proteger el ecosistema local	-15	-B	3	-1	1	2	2
	Minimizar los impactos ambientales del transporte de residuos	-6	-A	1	-1	2	2	2
	Proteger la salud pública	6	+A	1	1	2	2	2
Econ/Oper	Aumentar la inversión en capital humano, equipos e infraestructura	6	+A	1	1	2	2	2
	Eficientar la gestión de residuos y servicios de monitoreo	6	+A	1	1	2	2	2
	Fortalecer la capacidad institucional en la gestión integral de RSU	6	+A	1	1	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Integración matricial: A03. Construcción de plantas de compostaje, reciclaje y producción de biogás.

Categorías	Indicadores	ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
Fis/Quím	Reducir la contaminación en aguas superficiales y subterráneas	-28	-C	2	-2	2	2	3
	Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos (GEI)	-32	-C	2	-2	2	3	3
Biol/Ecol	Remediar la contaminación del suelo	-8	-A	1	-1	2	3	3
	Reducir los efectos nocivos en la biodiversidad	-6	-A	1	-1	2	2	2
	Proteger el paisaje y los recursos naturales	-6	-A	1	-1	2	2	2
Soc/Cult	Proteger el ecosistema local	-5	-A	1	-1	1	2	2
	Minimizar los impactos ambientales del transporte de residuos	-12	-B	2	-1	2	2	2
Econ/Oper	Proteger la salud pública	-24	-C	2	-2	2	2	2
	Aumentar la inversión en capital humano, equipos e infraestructura	-6	-A	1	-1	2	2	2
	Fortalecer la capacidad institucional en la gestión integral de RSU	-6	-A	1	-1	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Integración matricial: A04. Plan de inversiones para el mejoramiento de equipos e infraestructura.

Categorías	Indicadores	ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
Fis/Quím	Reducir la contaminación en aguas superficiales y subterráneas	-7	-A	1	-1	2	2	3
	Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos (GEI)	-16	-B	2	-1	2	3	3
Biol/Ecol	Remediar la contaminación del suelo	-8	-A	1	-1	2	3	3
	Reducir los efectos nocivos en la biodiversidad	-6	-A	1	-1	2	2	2
	Proteger el paisaje y los recursos naturales	-6	-A	1	-1	2	2	2
Soc/Cult	Proteger el ecosistema local	-6	-A	1	-1	2	2	2
	Minimizar los impactos ambientales del transporte de residuos	-14	-B	1	-2	3	2	2
Econ/Oper	Proteger la salud pública	-6	-A	1	-1	2	2	2
	Aumentar la inversión en capital humano, equipos e infraestructura	-14	-B	1	-2	3	2	2
	Fortalecer la capacidad institucional en la gestión integral de RSU	-6	-A	1	-1	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Integración matricial A05. Capacitación de la población y trabajadores para el establecimiento del sistema de GIRSU.

Categorías	Indicadores	ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
Fis/Quím	Reducir la contaminación en aguas superficiales y subterráneas	-7	-A	1	-1	2	2	3
	Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos (GEI)	-14	-B	2	-1	2	2	3
Biol/Ecol	Remediar la contaminación del suelo	-7	-A	1	-1	2	2	3
	Reducir los efectos nocivos en la biodiversidad	-6	-A	1	-1	2	2	2
	Proteger el paisaje y los recursos naturales	-6	-A	1	-1	2	2	2
Soc/Cult	Proteger el ecosistema local	-12	-B	2	-1	2	2	2
	Minimizar los impactos ambientales del transporte de residuos	-12	-B	1	-2	2	2	2
Econ/Oper	Proteger la salud pública	-14	-B	1	-2	3	2	2
	Aumentar la inversión en capital humano, equipos e infraestructura	-14	-B	1	-2	3	2	2
	Fortalecer la capacidad institucional en la gestión integral de RSU	-6	-A	1	-1	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de la integración matricial genera la evaluación de cada alternativa mediante la Ecuación (4), que suma las puntuaciones de cada categoría para establecer la agregación de la puntuación ambiental en un rango de banda que funciona como marcador de impacto para la toma de decisiones durante la selección de las alternativas.

En la Tabla 41, se presenta la puntuación ambiental para la alternativa 01; esta valoración se observa de manera gráfica en la Figura 19, que muestra 7 indicadores en rangos negativos y 4 en el rango positivo (+A), de los cuales, 3 indicadores corresponden a la categoría Económico/Operacional y 1 indicador pertenece a la categoría de Socio/Cultural en función del beneficio para la salud pública. La alternativa 01, representa un cambio ligeramente positivo mediante la separación de los residuos y la ampliación del sistema de recolección, considerando el aumento en la inversión de capital humano, equipos e infraestructura; la mejora en la eficiencia de gestión de residuos y servicios de monitoreo, y el fortalecimiento en la capacidad institucional para la gestión integral de los residuos a nivel estatal.

Tabla 41. Puntuación Ambiental A01. Separación de residuos y ampliación de recolección.

Categorías	+E	+D	+C	+B	+A	N	-A	-B	-C	-D	-E
Fís/Quím	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Biol/Ecol	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0
Soc/Cult	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
Econ/Oper	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
$\Sigma =$	0	0	0	0	4	0	3	2	2	0	0

Fuente: Elaboración propia.

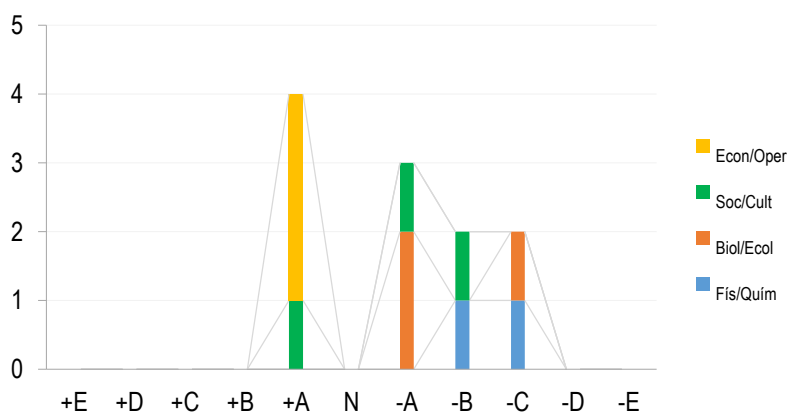


Figura 19. Puntuación ambiental A01. Separación de residuos y ampliación de recolección.

La Tabla 42, contiene la puntuación ambiental de la alternativa 02, y gráficamente se representan en la Figura 20. Se encuentran 7 indicadores en rangos negativos y 4 en el rango positivo (+A). La alternativa 02, que consiste en la construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales, coincide con la alternativa 01, en el aumento de la inversión en capital humano, equipos e infraestructura; mejora en la eficiencia de gestión de residuos y servicios de monitoreo, y el fortalecimiento en la capacidad institucional para la gestión integral de RSU a fin de representar un cambio ligeramente positivo desde la perspectiva Económico/Operacional y Socio/Cultural.

Tabla 42. Puntuación ambiental A02. Construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales.

Categorías	+E	+D	+C	+B	+A	N	-A	-B	-C	-D	-E
Fís/Quím	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Biol/Ecol	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
Soc/Cult	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
Econ/Oper	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
$\Sigma =$	0	0	0	0	4	0	3	2	2	0	0

Fuente: Elaboración propia.

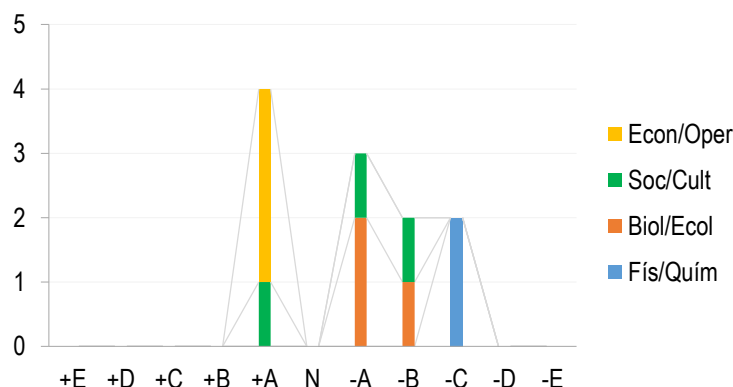


Figura 20. Puntuación ambiental A02. Construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales.

En la Tabla 43, se integra la puntuación ambiental para la alternativa 03, y en la Figura 21, se presentan los valores. En esta alternativa se encuentran 11 indicadores en rangos negativos, obteniendo 7 indicadores en el rango (-A). La falta de atención en el manejo de los residuos orgánicos, así como la ausencia de perspectivas en el programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos del estado de Guerrero, para la construcción de plantas de compostaje, reciclaje y producción de biogás, genera un cambio ligeramente negativo a nivel Biológico/Ecológico, Económico/Operacional y Socio/Cultural.

Tabla 43. Puntuación ambiental A03. Construcción de plantas de compostaje, reciclaje y producción de biogás.

Categorías	+E	+D	+C	+B	+A	N	-A	-B	-C	-D	-E
Fís/Quím	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Biol/Ecol	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Soc/Cult	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Econ/Oper	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
$\Sigma =$	0	0	0	0	0	0	7	1	3	0	0

Fuente: Elaboración propia.

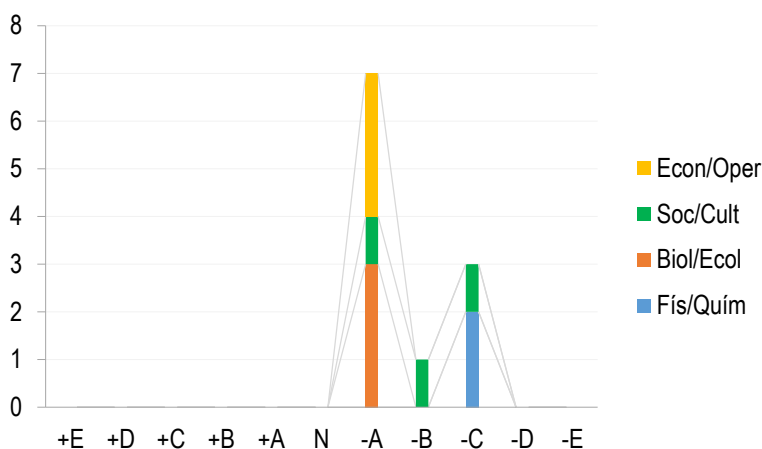


Figura 21. Puntuación ambiental A03. Construcción de plantas de compostaje, reciclaje y producción de biogás.

En la Tabla 44, se presenta la puntuación ambiental para la alternativa 04; la valoración se observa de manera gráfica en la Figura 22, que muestra 11 indicadores en rangos negativos, de los cuales, 3 se ubican en el rango (-B) representando un cambio negativo para las categorías: Físico/Químicos, Socio/Cultural y Económico/Operacional. El mayor número de indicadores negativos se localiza en el rango (-A) que indica un cambio ligeramente negativo ante la falta de implementación de un plan de inversiones para el mejoramiento de equipos e infraestructura.

Tabla 44. Puntuación ambiental A04. Plan de inversiones para el mejoramiento de equipos e infraestructura.

Categorías	+E	+D	+C	+B	+A	N	-A	-B	-C	-D	-E
Fís/Quím	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Biol/Ecol	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Soc/Cult	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
Econ/Oper	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
$\Sigma =$	0	0	0	0	0	0	8	3	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

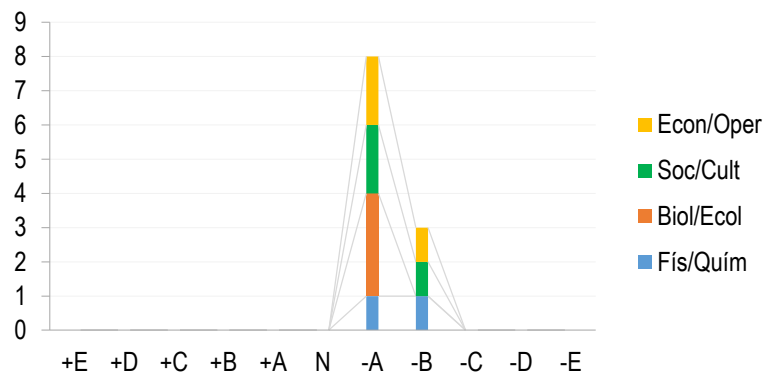


Figura 22. Puntuación ambiental A04. Plan de inversiones para el mejoramiento de equipos e infraestructura.

En la Tabla 45, se presenta la puntuación ambiental para la alternativa 05; la valoración se observa de manera gráfica en la Figura 23. La interpretación de esta alternativa se realiza en función de la no aplicación de la misma, debido a que la falta de capacitación y formación de la población y trabajadores en el establecimiento del sistema de gestión integral de residuos, genera impactos negativos y ligeramente negativos en todas las categorías evaluables, particularmente en las categorías: Biológico/Ecológico y Socio/Cultural en función de los efectos significativos sobre la salud de la población y la calidad de los elementos ambiental.

Tabla 45. Puntuación ambiental 05. Capacitación de la población y trabajadores para el establecimiento del sistema de GIRSU.

Categorías	+E	+D	+C	+B	+A	N	-A	-B	-C	-D	-E
Fís/Quím	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Biol/Ecol	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Soc/Cult	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Econ/Oper	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	6	5	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

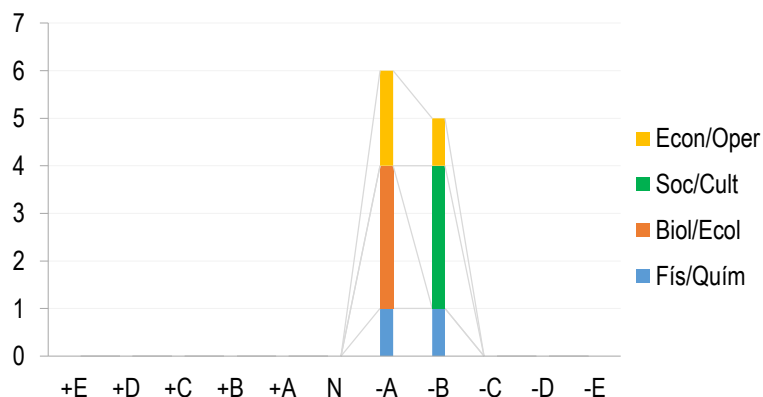


Figura 23. Puntuación ambiental A05. Capacitación de la población y trabajadores para el establecimiento de la GIRSU.

La Ecuación (5), otorgó el valor de la puntuación ambiental total para describir el potencial de afectación. En la Tabla 46, se integra la puntuación total de todas las alternativas que se evaluaron, y en la Figura 24, se representa gráficamente la valoración ambiental total; se observan valores con cambios negativos, ligeramente y moderadamente negativos, sobresaliendo la alternativa 04, que sugiere un plan de inversiones para el mejoramiento de equipos e infraestructura. Entre los rangos con cambios ligeramente positivos se encuentran las alternativas 01 y 02.

Tabla 46. Puntuación ambiental total.

Alternativas	+E	+D	+C	+B	+A	N	-A	-B	-C	-D	-E
A01	0	0	0	0	4	0	3	2	2	0	0
A02	0	0	0	0	4	0	3	2	2	0	0
A03	0	0	0	0	0	0	7	1	3	0	0
A04	0	0	0	0	0	0	8	3	0	0	0
A05	0	0	0	0	0	0	6	5	0	0	0
$\Sigma =$	0	0	0	0	8	0	27	13	7	0	0

Fuente: Elaboración propia.

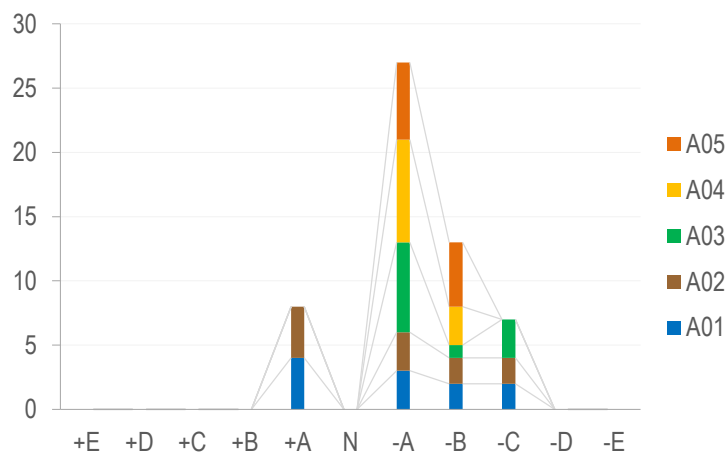


Figura 24. Puntuación ambiental total (elaboración propia).

EL PEPGIR del estado de Guerrero no contempla la situación actual del manejo de los RSU, los cuales son depositados en tiraderos silvestres, tiraderos clandestinos y sitios de disposición final no controlados. Existen colonias, localidades y municipios que no cuentan con servicio de recolección, ocasionando que los residuos sean quemados al aire libre, y depositados de manera dispersa en calles, carreteras, ríos y lugares baldíos; el tratamiento de los residuos orgánicos es inexistente, y no se planean alternativas de tratamiento factibles para el área de estudio y no se consideran planes

de inversión para el mejoramiento de los equipos. Por consiguiente, resulta importante proyectar objetivos de protección ambiental y alternativas viables que tengan factibilidad de implementación en el medio geográfico del estado, así como la capacitación y formación de recursos humanos para establecer medidas técnicas de monitoreo a fin de lograr el correcto funcionamiento del manejo integral de los residuos.

La evaluación del PEPGIR utilizando la metodología RIAM, presenta como solución las alternativas 01. Separación de residuos y ampliación de recolección, y la alternativa 02. Construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales; debido a que son las dos opciones que caen en rangos de impactos positivos, y brindan soluciones menos costosas en términos de operación y mantenimiento.

La metodología RIAM proporciona un medio para incluir criterios ambientales en la planeación local y estatal. Ng & Obbard, (2005) y Naddeo *et al.*, (2013), señalan que los modelos utilizados en la evaluación estratégica ambiental, se caracterizan por la facilidad de implementación, similar a los modelos desarrollados para la evaluación de impacto ambiental, como las listas de control, modelos de predicción y criterios de análisis múltiples para la comparación de alternativas. En este sentido, la metodología RIAM representa un método accesible en función del costo, tiempo, precisión de los resultados, así como la estandarización de uso que facilita la replicabilidad de forma ordenada para permitir un análisis rápido que genera una opinión clara en cuanto a la selección de alternativas en una fase temprana del proceso de planificación.

6.3. Validación del modelo de EIA para SDF en posclausura

El modelo de Evaluación de Impacto Ambiental para SDF en Etapa de Posclausura (EIA_{SDFEP}), se validó en SDF de Acapulco de Juárez; Guerrero, México. El municipio representa la mayor ciudad de Guerrero, es la única zona metropolitana del estado que concentra la mayor población y uno de los principales destinos turísticos de México, siendo considerado como la décima sexta metrópoli más grande del país y la vigésima primera ciudad más poblada de México (INEGI, 2010).

En la Figura 25, se presenta el área de estudio que se localiza al sur del país, entre los paralelos 16° 41' 05" y 17° 11' 37" de latitud norte, y los meridianos 99° 30' 00" y 99° 59' 49" de longitud oeste. En el municipio de Acapulco, Guerrero se presenta un manejo inadecuado de los residuos; el reciclaje se realiza por el sector informal sin condiciones sanitarias (Anexo I). Existen colonias y localidades sin cobertura de servicios de recolección que depositan los residuos en tiraderos no administrados en condiciones anaerobias produciendo metano, y en pequeños montones en condiciones aeróbicas produciendo dióxido de carbono. Los residuos dispersos se queman produciendo contaminación atmosférica extrema.

La aplicación de la guía de verificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003 mediante la lista de chequeo que se presenta en el Anexo II, generó la información sobre la disposición diaria de RSU en el SDF de Acapulco; diariamente se depositan 869 toneladas de residuos y anualmente se reciben alrededor de 317,173 toneladas de RSU. El índice ambiental para evaluar SDF indica el cumplimiento de la normatividad aplicable en un 22 %; el porcentaje expresa el incumplimiento en estudios geológicos, hidrológicos, topográficos; así como estudios de generación de lixiviados y biogás (Anexo III).

En la Figura 26, se presenta el mapa topográfico del sitio de disposición final de Acapulco, Guerrero, gestionado desde el año 1998; en el año 2020, se proyecta la clausura. Se ubica en el Paso Texca de Acapulco; Guerrero, el área total del SDF es de 105 hectáreas, de las cuales se destinan 15 hectáreas para la disposición; cuenta con 6 celdas, 3 tinas de lixiviados y una superficie destinada al secado de lodos procedentes de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco. La compactación de los residuos es mayor a 600 kg/m³ y los residuos son cubiertos en forma continua en un tiempo de 24 horas posteriores a su depósito. El modelo de EIA_{SDF}^{EP} se aplica para la Celda 0 que cuenta con 18 años de clausura, tiempo aproximado para el inicio de la etapa de posclausura. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada elemento de impacto y la evaluación de impacto ambiental total para la celda 0.

Agua. Para la aplicación del modelo de EIA_{SDFEP} se utilizaron los datos de composición de los lixiviados maduros para SDF establecidos por Tchobanoglous *et al.*, (1994). El valor subíndice de las variables se calculó según la concentración de contaminantes del lixiviado a partir de las curvas de puntuación subíndice desarrolladas por Kumar & Alappat, (2005). En la Tabla 47, se presentan los valores para la variable de concentración de contaminantes de lixiviados incluyendo el factor de ponderación que corresponde a las variables del contaminante del cual se dispone de información.

Tabla 47. Concentración de contaminantes de lixiviados: Celda 0, SDF de Acapulco, Gro.

Contaminantes (Lix >10 años)	Ponderación (W_i)	Puntuación del contaminante lixiviado (P_i)		Indicador de contaminación por lixiviados
		[] Contaminantes	Puntuación lixiviados	
DBO ₅	0.0071	200	5.2	7.40
DQO	0.0071	500	5.0	17.75
Sólidos totales	0.0071	400	10	28.40
Nitrógeno orgánico	0.0071	120-	5.5	4.70
Nitrógeno amoniacal	0.0071	40-	3.8	1.07
pH	0.0071	7.5-	5.3	0.28
Hierro	0.0071	200-	8.2	11.64
	$\Sigma=0.05$			$\Sigma=71.24$

Valor: mg/l excepto el pH.

Fuente: Elaboración propia con datos de Tchobanoglous *et al.*, (1994) y Kumar & Alappat, (2005).

La Tabla 48, presenta el resultado del índice de impacto de agua del SDF en posclausura, utilizando las Ecuaciones (6) y (7). El valor obtenido indica una puntuación de 968 $UIAA$, lo que representa un impacto crítico donde se produce una pérdida permanente de la calidad del agua a consecuencia de los lixiviados.

Tabla 48. Índice de impacto del agua para SDF en posclausura: Celda 0, SDF de Acapulco, Gro.

VARIABLES DE IMPACTO	Ponderación (W_i)	Puntuación afectación (P_i)	IIA_{SDF}
Cuerpos de agua superficiales, subterráneos y pozos de extracción de agua (<500 metros)	0.05	950	47.5
Barrera impermeable	0.05	950	47.5
Captación y extracción de lixiviados	0.05	950	47.5
Concentración de contaminantes de lixiviados (sólidos totales, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, DBO ₅ , DQO, pH, hierro)	0.05	71.24	3.6
Drenaje pluvial para desvíos de escurrimientos	0.05	950	47.5
	$\Sigma=0.25$		$\Sigma=190.52$

Escala de afectación $IIA_{SDFEP}=968 UIAA$.

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación del índice IIA_{SDFEP} generó la cartografía elaborada con imágenes multiespectrales Landsat 8 del servicio geológico de los Estados, con la finalidad de otorgar una puntuación de afectación objetiva sobre los cuerpos de agua susceptibles de impacto. La representación espacial generó la Figura 27, que representa la red hidrográfica del municipio de Acapulco mediante la unión de bandas RGB-5 6 4 Tierra/agua; la Figura 28, muestra la región hidrológica 19Ab. Costa Grande-La Sabana, microcuenca donde se ubica el SDF; y la Figura 29, que surge como la cartografía ex profeso para el área de estudio en función de cuerpos hídricos superficiales; para tal efecto, se generó un *buffer* de 0 a 3 kilómetros, identificando cuerpos de agua superficiales con caudal continuo a menos de 500 metros de distancia; inferior a lo señalado en el punto 6.1.6 de la NOM-083-SEMARNAT-2003. Este resultado basado en el análisis de la cartografía generada, estableció 950 puntos de afectación para el indicador de cuerpos de agua en relación a la ubicación del SDF.

Aire. La aplicación del índice de impacto de aire para SDF en Posclausura requirió la determinación de la HdC y el potencial de generación de metano para suministrar valores referentes a la concentración de contaminantes, mismos que se contrastaron con los constituyentes reportados por Tchobanoglous *et al.*, (1994) para obtener el porcentaje del gas contenido en SDF maduros. La puntuación para los indicadores de cobertura, control de entrada, separación de RSU, y monitoreo de contaminantes de lixiviados, se obtuvieron de la aplicación de la guía de verificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y del índice para evaluar SDF (Anexos II y III).

En la Tabla 49, se presenta el resultado del $IIAir_{SDFEP}$ utilizando las Ecuaciones (8) y (9). La gravedad de afectación para el elemento aire, representa una puntuación de 931 $UIAA$, generando un impacto ambiental crítico que produce una pérdida permanente de la calidad del aire a consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero totalizadas en términos de huella de carbono con 40% de CO_{2-eq} y 60% de metano durante la etapa de posclausura.

Tabla 49. Índice de impacto de aire para SDF en posclausura: Celda 0, SDF Acapulco; Gro.

Indicadores de impacto		Ponderación (W_i)	Puntuación afectación (X_i)	$IIAir_{SDF}$
Contaminantes del gas de SDF	CH ₄	0.025	1,627 ton/a=60*	1.5
	CO ₂ -eq	0,025	34,158 ton/a=40*	1.0
		0.05		2.5
Extracción, captación y conducción de biogás		0.05	900	45
Cobertura de RSU (<24 horas posterior al depósito)		0.05	800	40
Control de entrada y separación de RSU		0.05	989	49.4
Monitoreo de contaminantes de lixiviados		0.05	987	49.3
		$\Sigma=0.25$		$\Sigma=186.2$

Escala de afectación $IIAir_{SDFEP} = 931$ UIAA

Fuente: Elaboración propia.

Flora y Fauna: La evaluación del índice IIF_{SDFEP} utilizando la puntuación de afectación contenida en la Figura 14, incluyó el análisis de todos los indicadores mediante la descripción de los factores ambientales y la lista de chequeo para la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Anexo II). El análisis visual de imágenes satelitales procedentes del DigitalGlobe muestra la Figura 30, donde se observa una condición ambiental aceptable en el año 2000, mientras que para el año 2016, la Figura 31, modela una condición ambiental afectada de la vegetación del ecosistema.

La Figura 32, representa la ubicación del SDF en zonas de fracturas geológicas que van de noroeste a sureste. La Figura 29, señala la ubicación del SDF en zonas de ríos superficiales. Las Figuras 33 y 34, indican el tipo de vegetación del municipio y el tipo de vegetación de selva baja caducifolia y subcaducifolia susceptible de afectación. En la Tabla 50, se presenta la puntuación del IIF_{SDFEP} considerando el valor superior para la ubicación del SDF dentro de zonas de acuíferos ya que es el elemento de mayor importancia y representa un impacto severo que requiere medidas correctoras de tiempo considerable para la recuperación de la condición ambiental.

Tabla 50. Índice de impacto de flora y fauna para SDF en posclausura: Celda 0, SDF de Acapulco, Gro.

Variables de impacto	Puntuación de afectación (P)
Afectaciones en la vegetación natural y local del ecosistema	0-250
Ubicación del SDF en zona de fracturas o fallas geológicas	250-500
Ubicación del SDF en zona de ríos superficiales o subterráneos	500-750
Afectaciones en flora y fauna en riesgo (Nom-059-Semarnat-2010)	750-1 000

Escala de afectación $IIF_{SDFEP}=750$ UIAA.

Fuente: Elaboración propia.

Socioeconómico. El valor del parámetro socioeconómico se asignó considerando los resultados de la lista de chequeo de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Anexo II), el índice ambiental para evaluar SDF (Anexo III), para los indicadores de impacto visual en la zona de los alrededores. La valoración de la depreciación paisajística se realizó mediante el análisis visual de las imágenes satelitales del DigitalGlobe, otorgando una puntuación de afectación de 950 *UIAA*. Las Figuras 35 y 36, representan el análisis de datos espaciales a través de la unión de bandas espectrales RGB-5 6 2, para la valoración del impacto; el resultado obtenido indica un suelo desprovisto de vegetación con una fuerte degradación que representa una puntuación de afectación de 980 *UIAA*.

La composición de bandas RGB-7 6 4 representó la zona urbana mediante las Figuras 37, 38 y 39 que muestran las localidades del municipio, las que se ubican en la región hidrológica 19Ab, y las localidades cercanas al SDF. Las Figuras 40 y 41, muestran las vialidades que se localizan en las cercanías del vertedero. En estas figuras se observa que las localidades se ubican a menos de 500 metros del SDF y sobre ellas recae la mayor afectación en términos de impacto de olor y aversión posológica, dado que no se cumple con el punto 6.1.3 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 en función de la ubicación de las localidades mayores de 2500 habitantes y el límite del SDF. En la Tabla 51, se presenta la escala de afectación para el índice socioeconómico utilizando las Ecuaciones (10) y (11) que totalizan 662.4 *UIAA*, representando un impacto de tipo severo en términos de afectaciones del suelo y del medio social.

Tabla 51. Índice de impacto socioeconómico de SDF en posclausura: Celda 0, SDF de Acapulco, Gro.

Variables de impacto		Ponderación (W_i)	Puntuación de Afectación (S_i)	IIF_{SDF}
Paisaje	Impacto visual en la zona de los alrededores	0.05	950	47.5
	Depreciación paisajística	0.05	950	47.5
	Impacto de suelo	0.05	980	49
		0.15		144
Medio social	Impacto de olor	0.125	896	112
	Aversión psicológica	0.125	980	122.5
		0.25		234.5
		$\Sigma=0.35$		$\Sigma=378.5$

Escala de afectación $IIF_{SDF}^{EP} = 662.4$ *UIAA*.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 52, se presenta la matriz de impacto ambiental utilizando el modelo que se propone para la EIA_{SDFEP} ; el cual otorga una valoración que se calcula sobre la base de indicadores de los que se dispone de información, mediante índices que evalúan los elementos ambientales que se ven directamente afectados por los SDF en posclausura. La aplicación del modelo de EIA_{SDFEP} calcula un impacto de tipo crítico para los elementos del medio abiótico; agua y aire, que reciben un mayor peso de ponderación en función de la importancia que representan para las condiciones ambientales y de salud pública.

El medio biótico considerado por la flora y fauna, así como el parámetro socioeconómico integrado por el paisaje y medio social, muestran un impacto de tipo severo. El impacto ambiental total de la celda 0 sobre el agua, aire, flora y fauna, paisaje y medio social, se totaliza en 828 *UIAA*, representando un impacto de tipo crítico que produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales sin posible recuperación. En las Figuras 42 y 43 se representa el valor del impacto ambiental total de la celda 0, a partir de una base topográfica generada con curvas de nivel definidas a cada metro de distancia, con valores mínimos de 97 metros sobre el nivel del mar (msnm) y máximos de 412 msnm, que dan como resultado un mapa de elevación digital 3D que muestra al SDF en un terreno susceptible de inundación con valor medio de 145 msnm.

Tabla 52. Matriz de impactos: Celda 0, SDF de Acapulco, Guerrero.

Elemento de impacto		Ponderación	Puntuación de afectación	Factor de gravedad (Escala 0-1 000 <i>UIAA</i>)	Gravedad de impacto
Medio abiótico	Agua	0.25	190.52	968	Crítico
	Aire	0.25	186.2	931	Crítico
Medio biótico	Flora y Fauna	0.10	750	750	Severo
Socioeconómico	Paisaje	0.15	378.5	662.4	Severo
	Medio social	0.25			
		$\Sigma=1.0$			
EIA_{SDFEP} Celda 0 = 828 Unidades de Impacto Ambiental Adimensional.					

Fuente: Elaboración propia.

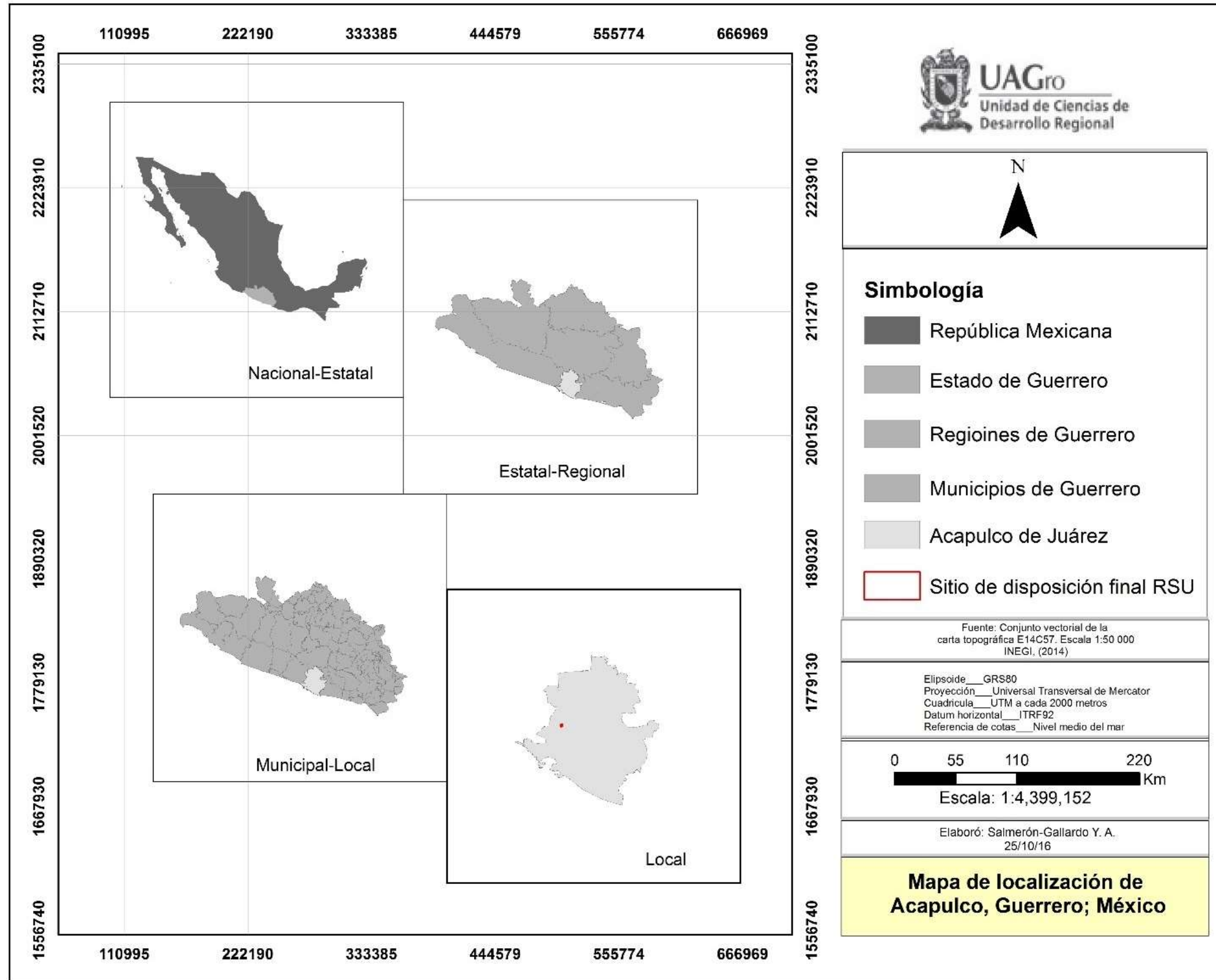


Figura 25. Mapa de localización, Acapulco, Guerrero; México. Elaboración propia con datos del INEGI, (2014).

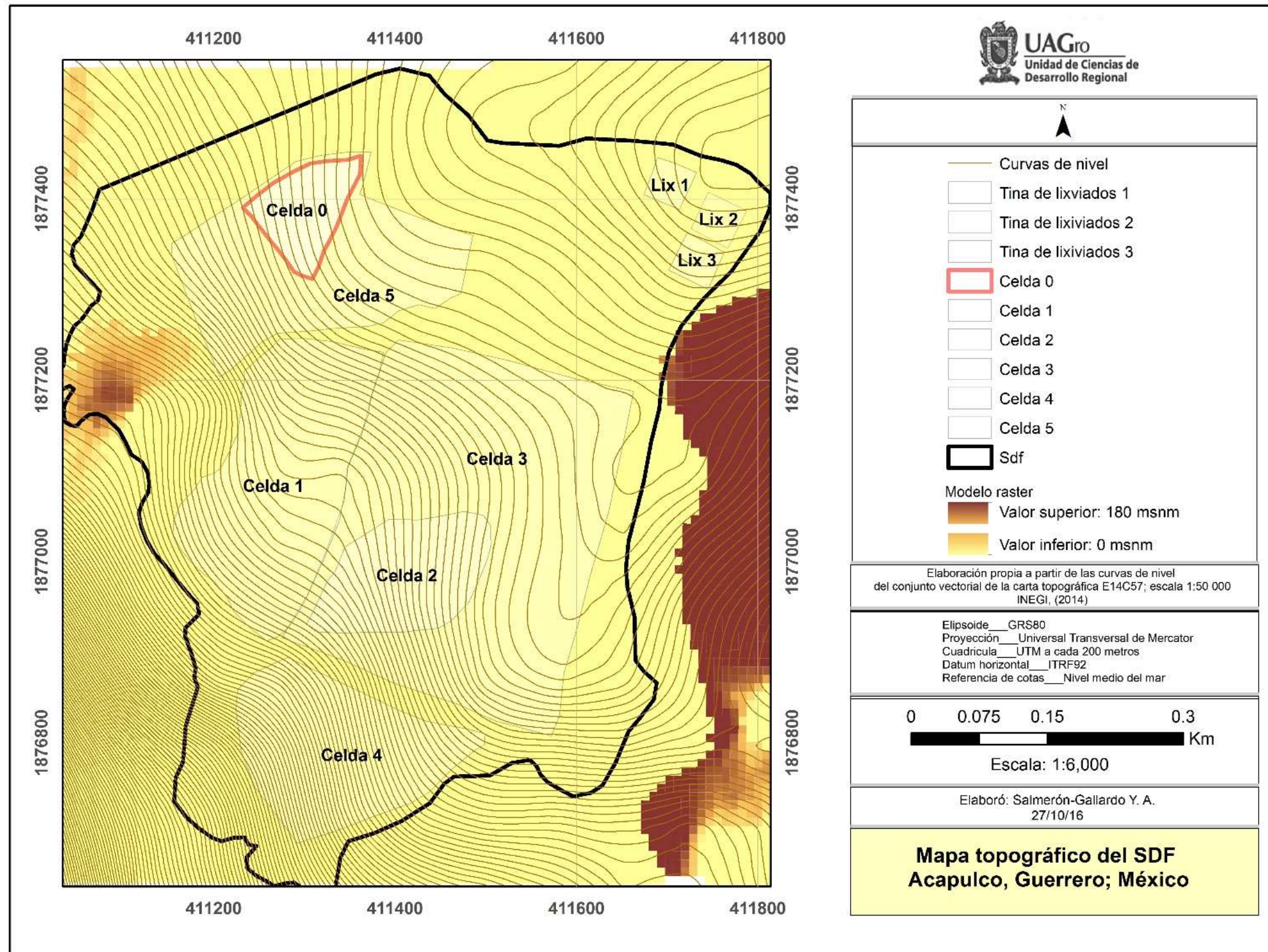


Figura 26. Mapa topográfico del SDF de Acapulco, Guerrero; México. Elaboración propia.

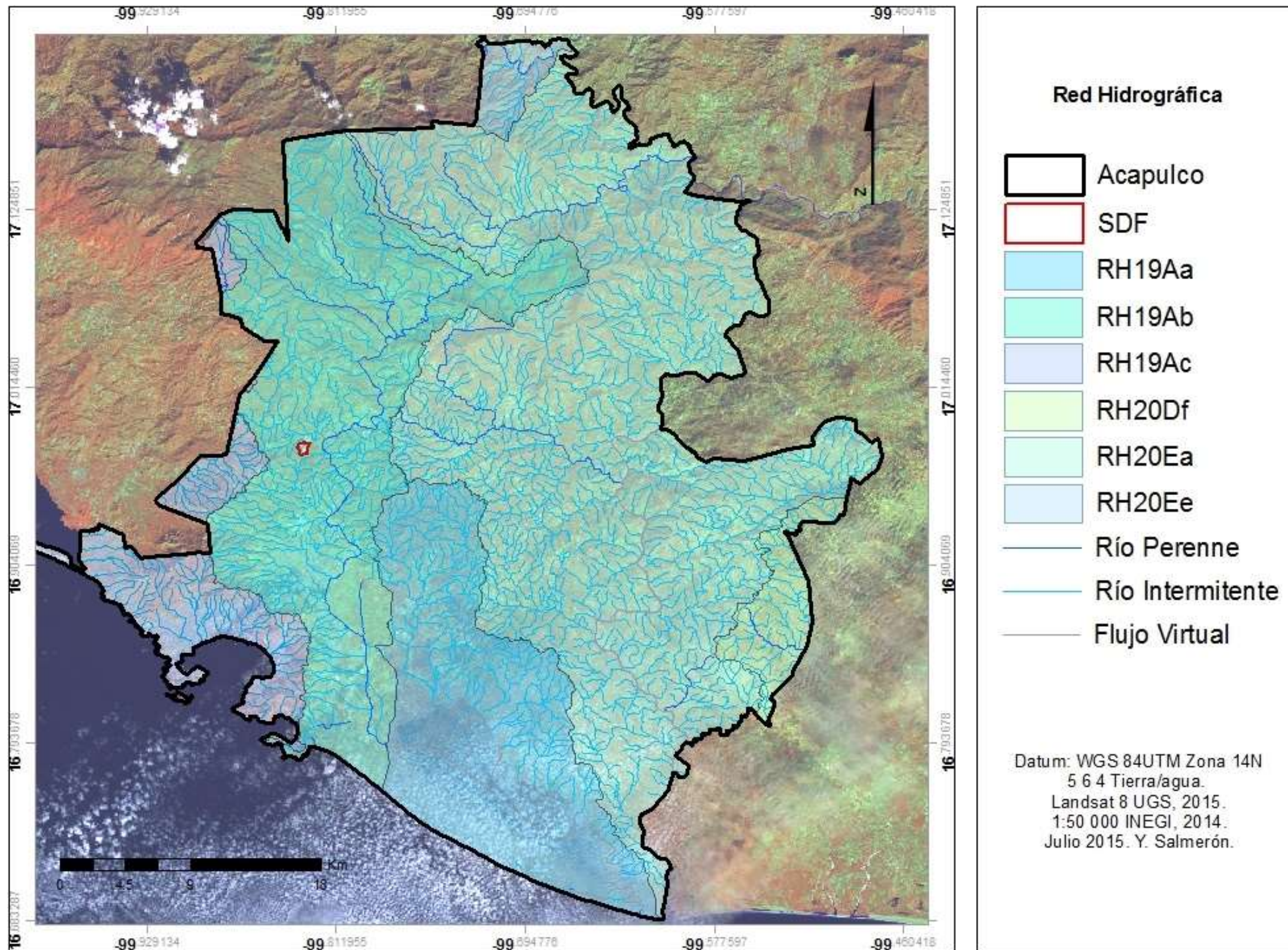


Figura 27. Mapa hidrológico de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

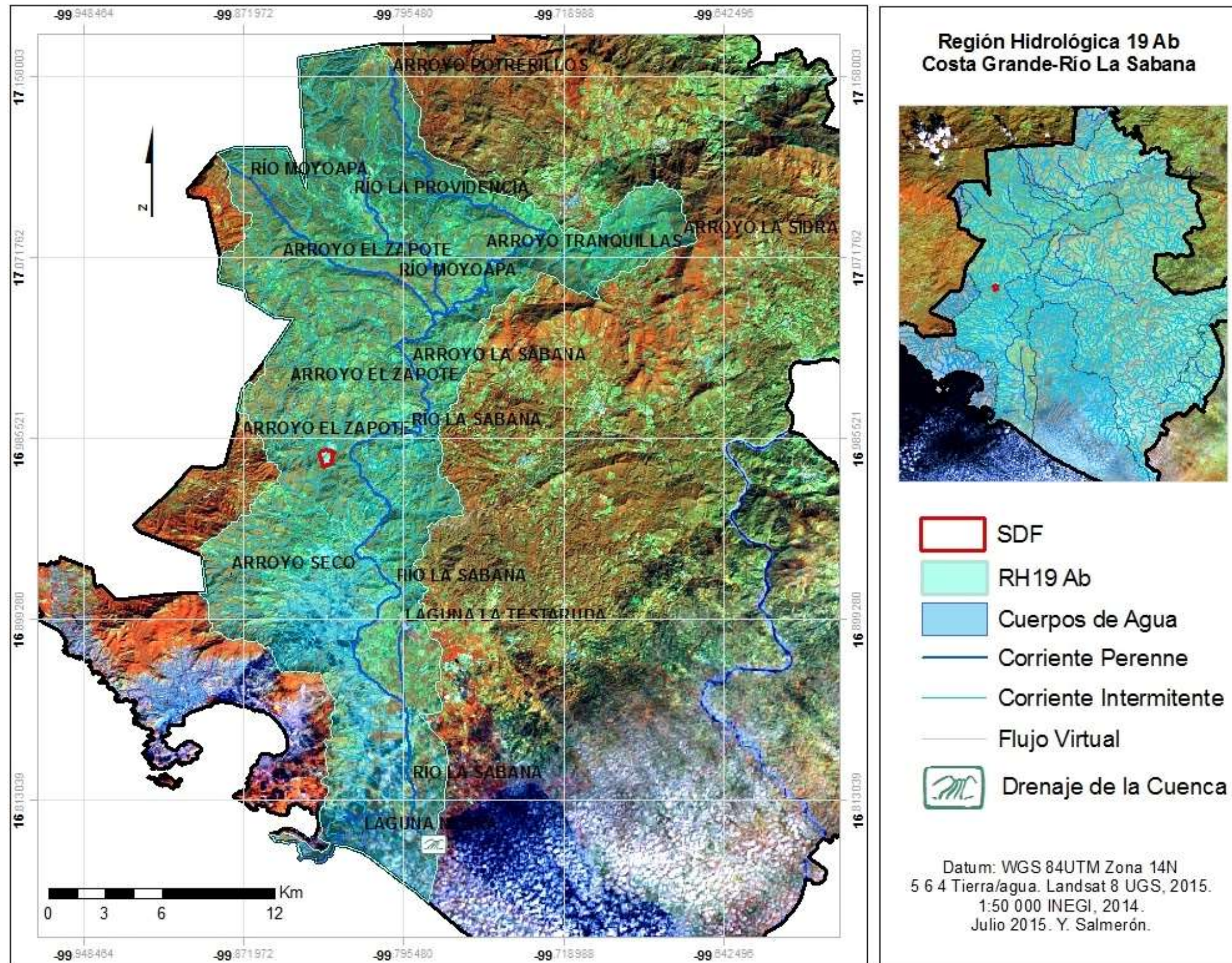


Figura 28. Mapa hidrológico RH19Ab. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

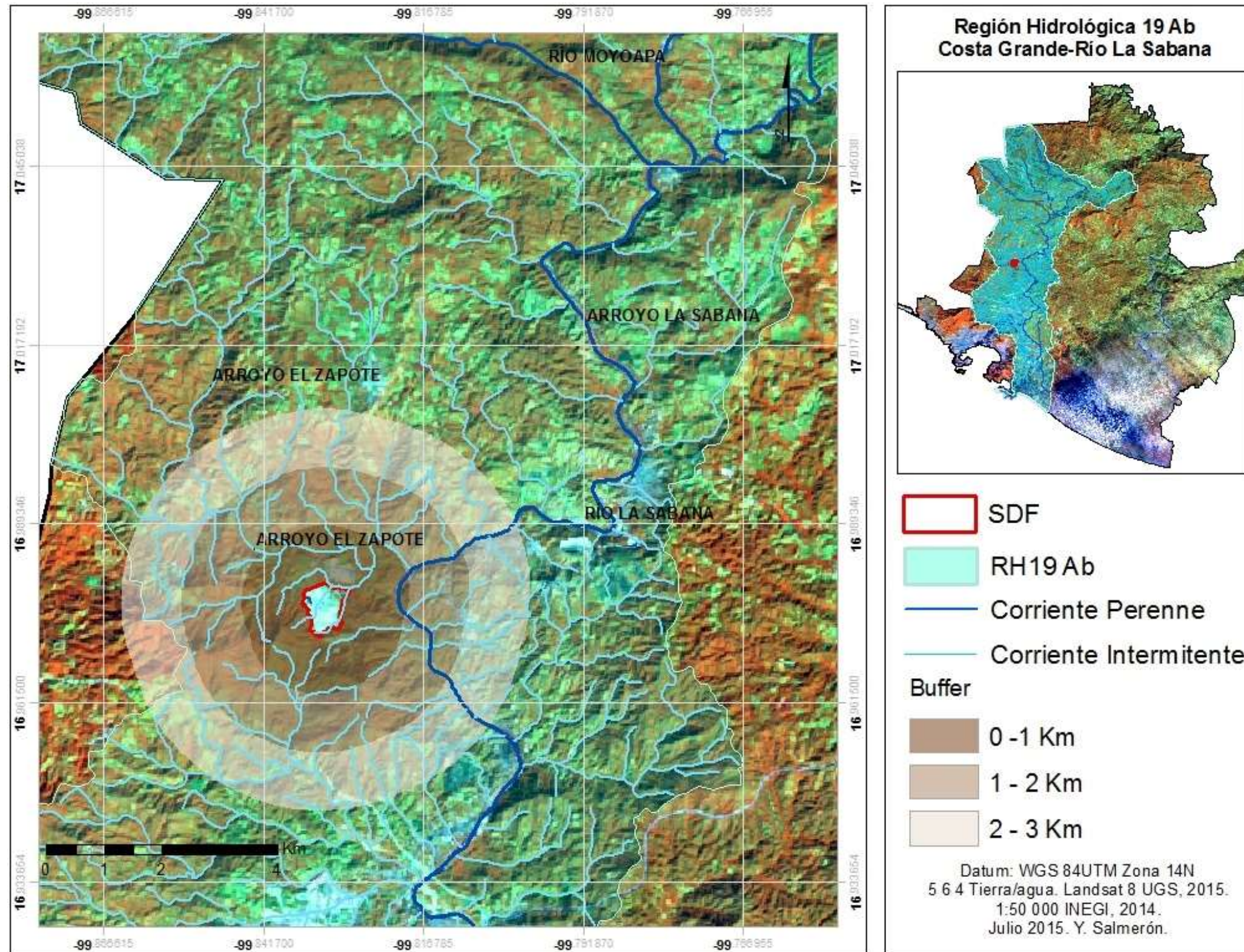


Figura 29. Mapa hidrológico: Cuerpos de agua superficiales en el SDF. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

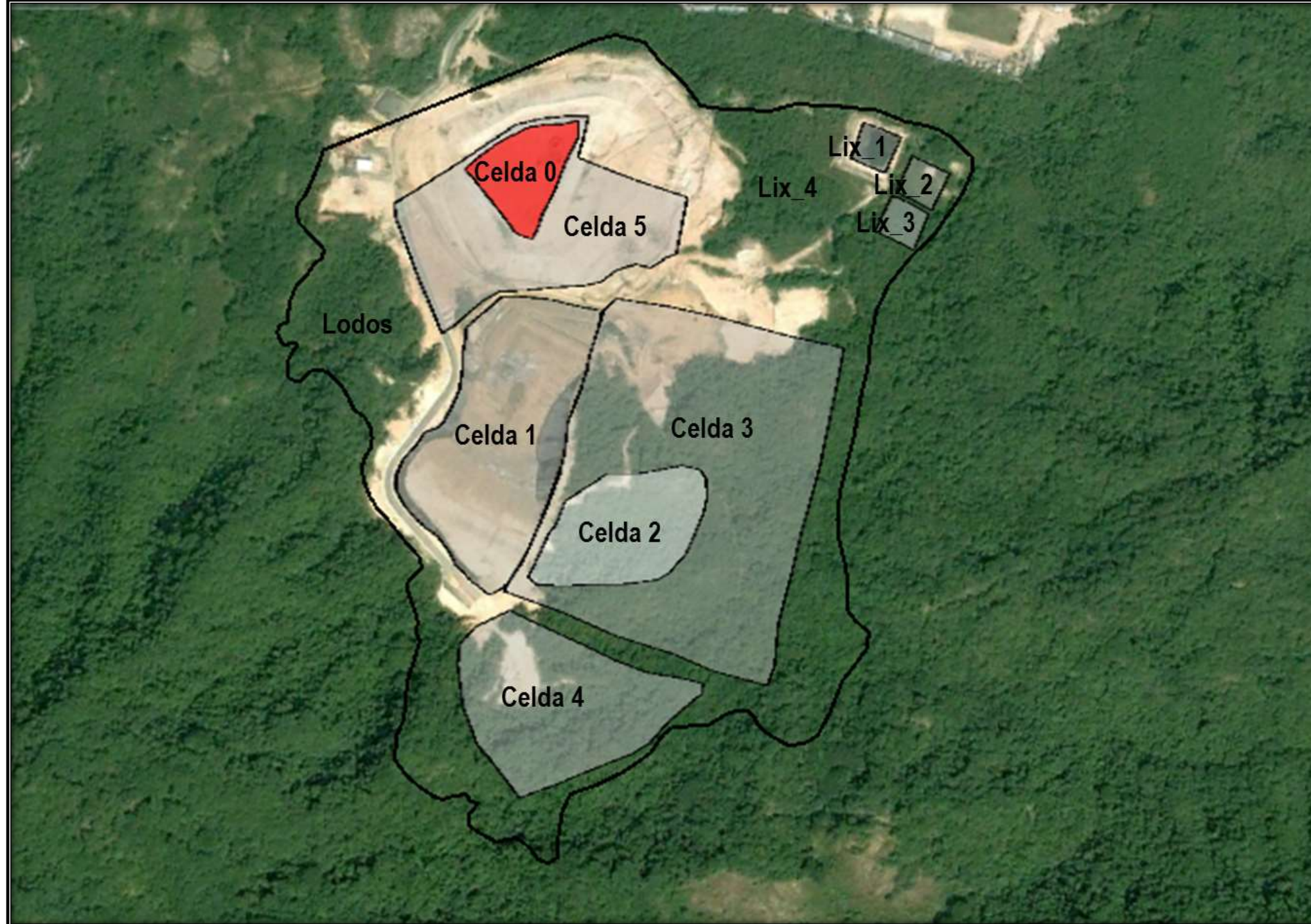


Figura 30. Imagen satelital del SDF de Acapulco, Guerrero. DG, (2000).



Figura 31. Imagen satelital del SDF de Acapulco, Guerrero. DG, (2016).

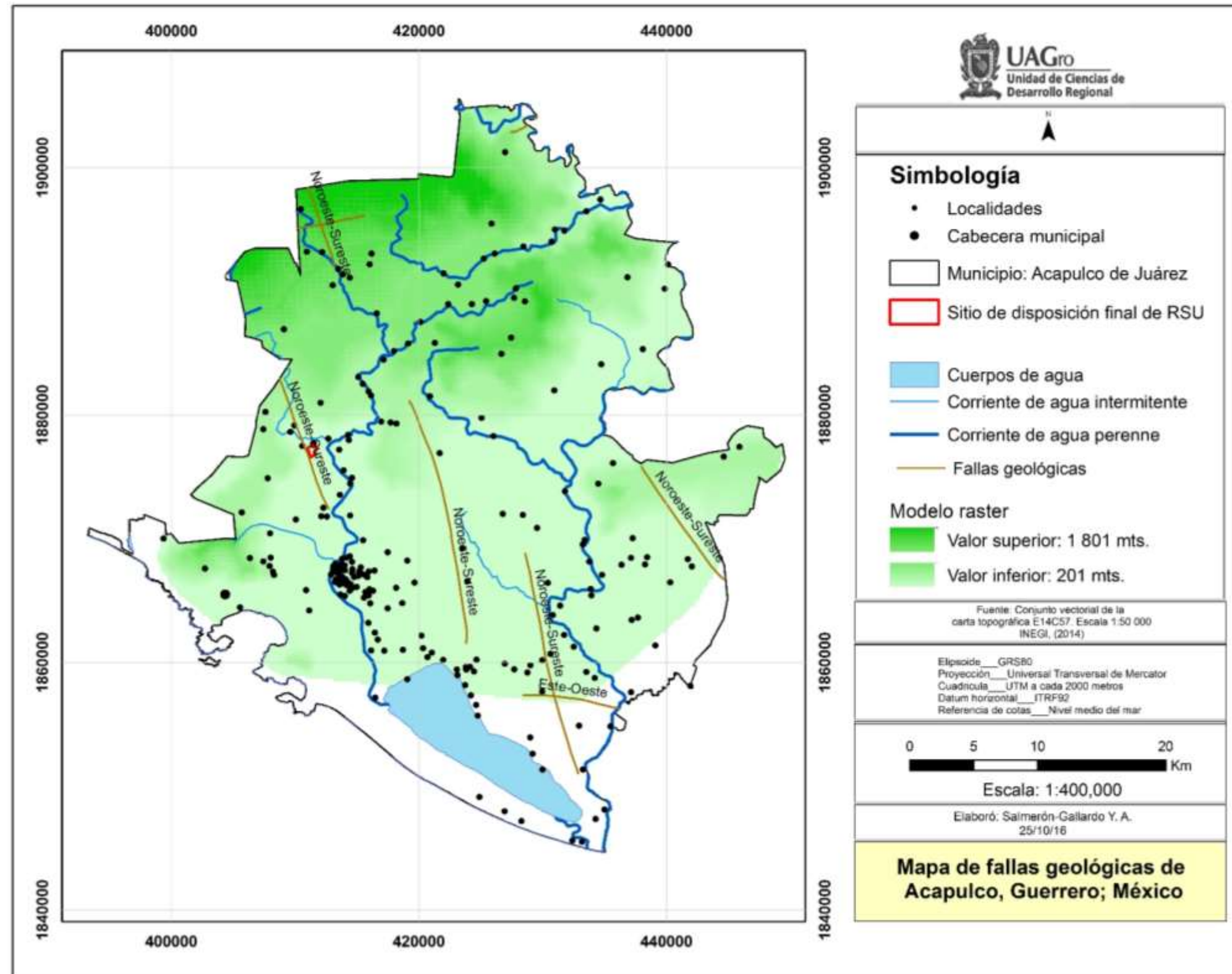


Figura 32. Mapa de fallas geológicas de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

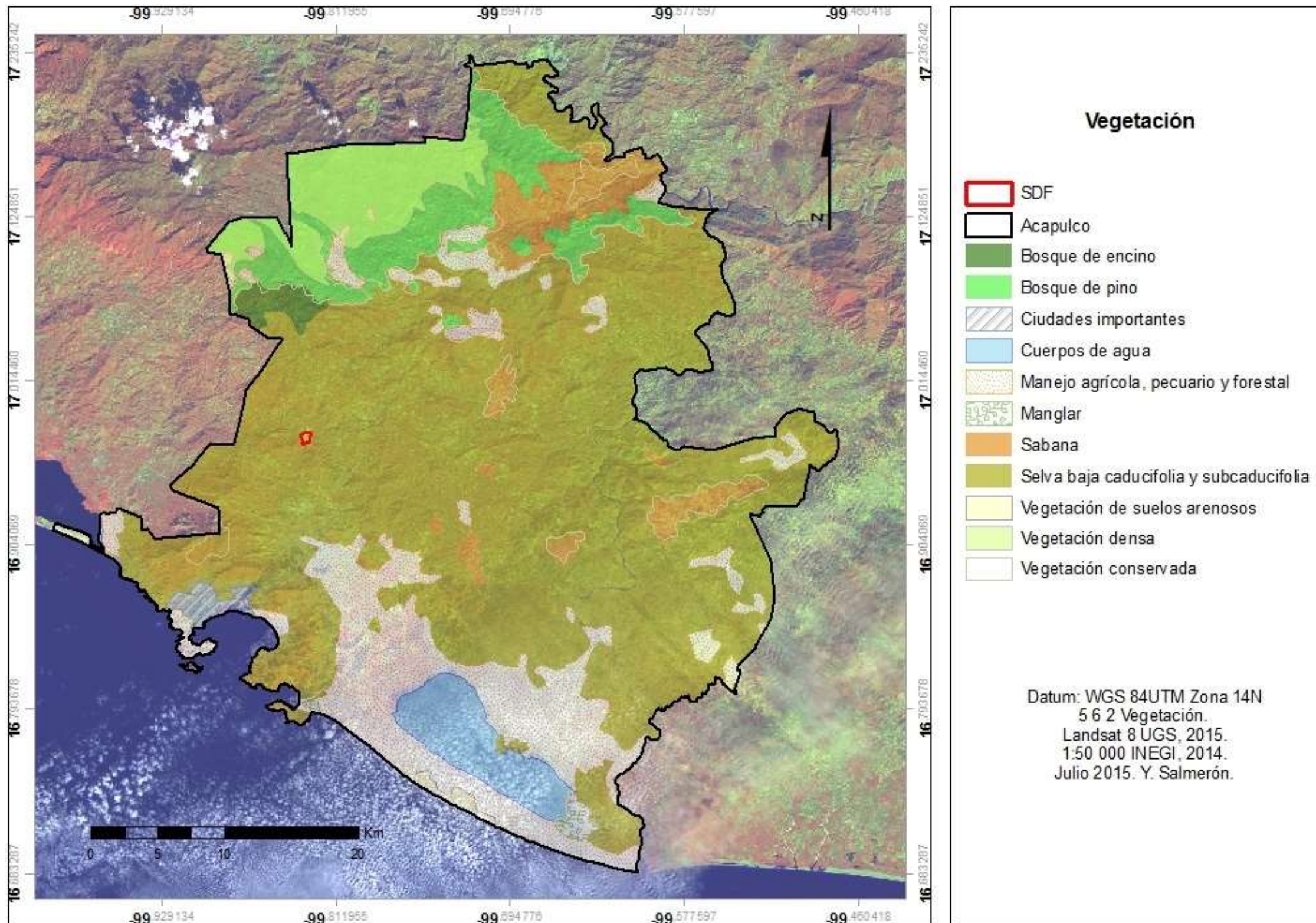


Figura 33. Mapa de vegetación de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de NEGI, (2014).

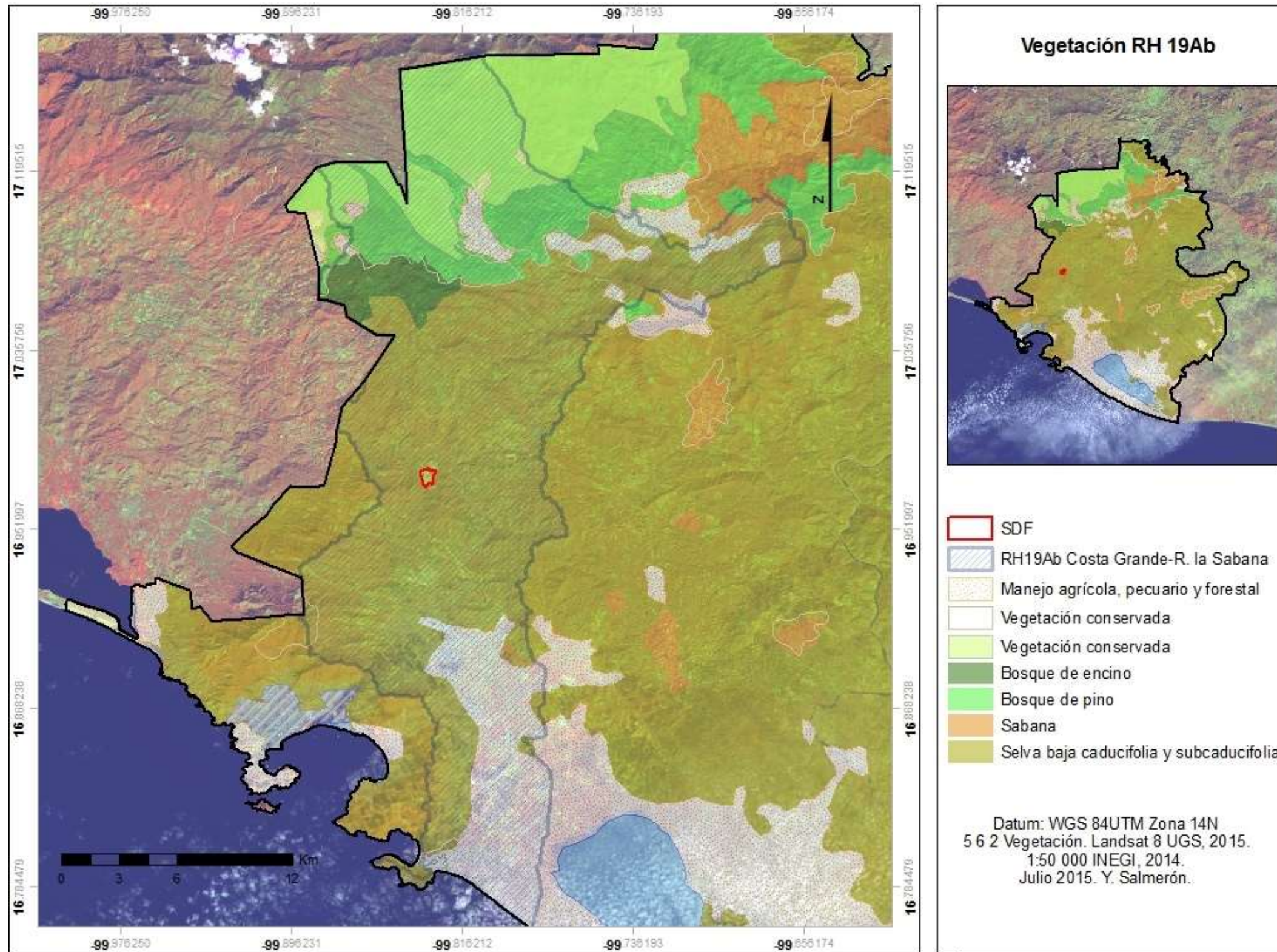


Figura 34. Mapa de vegetación RH19Ab. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

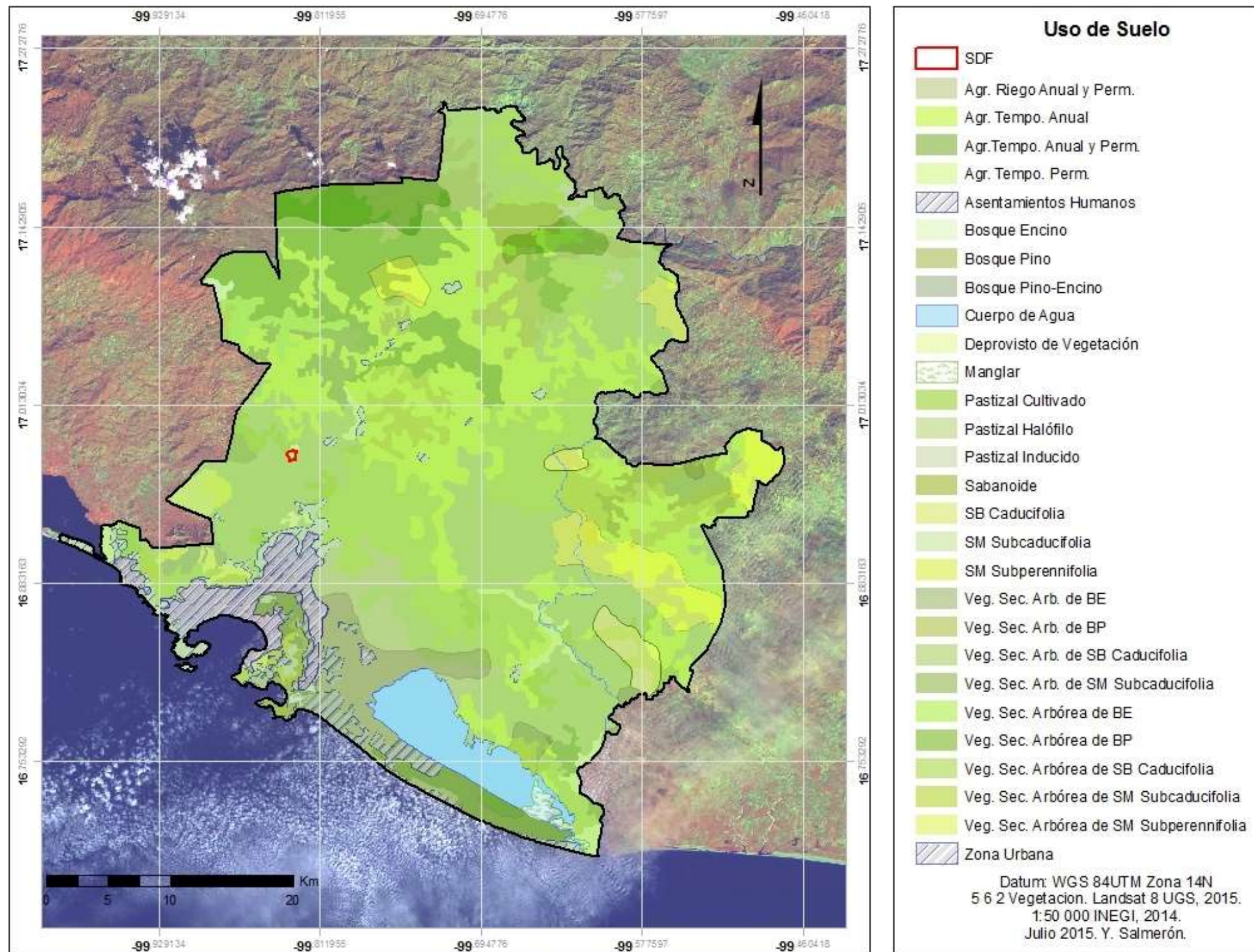


Figura 35. Mapa de uso de suelo de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015), y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

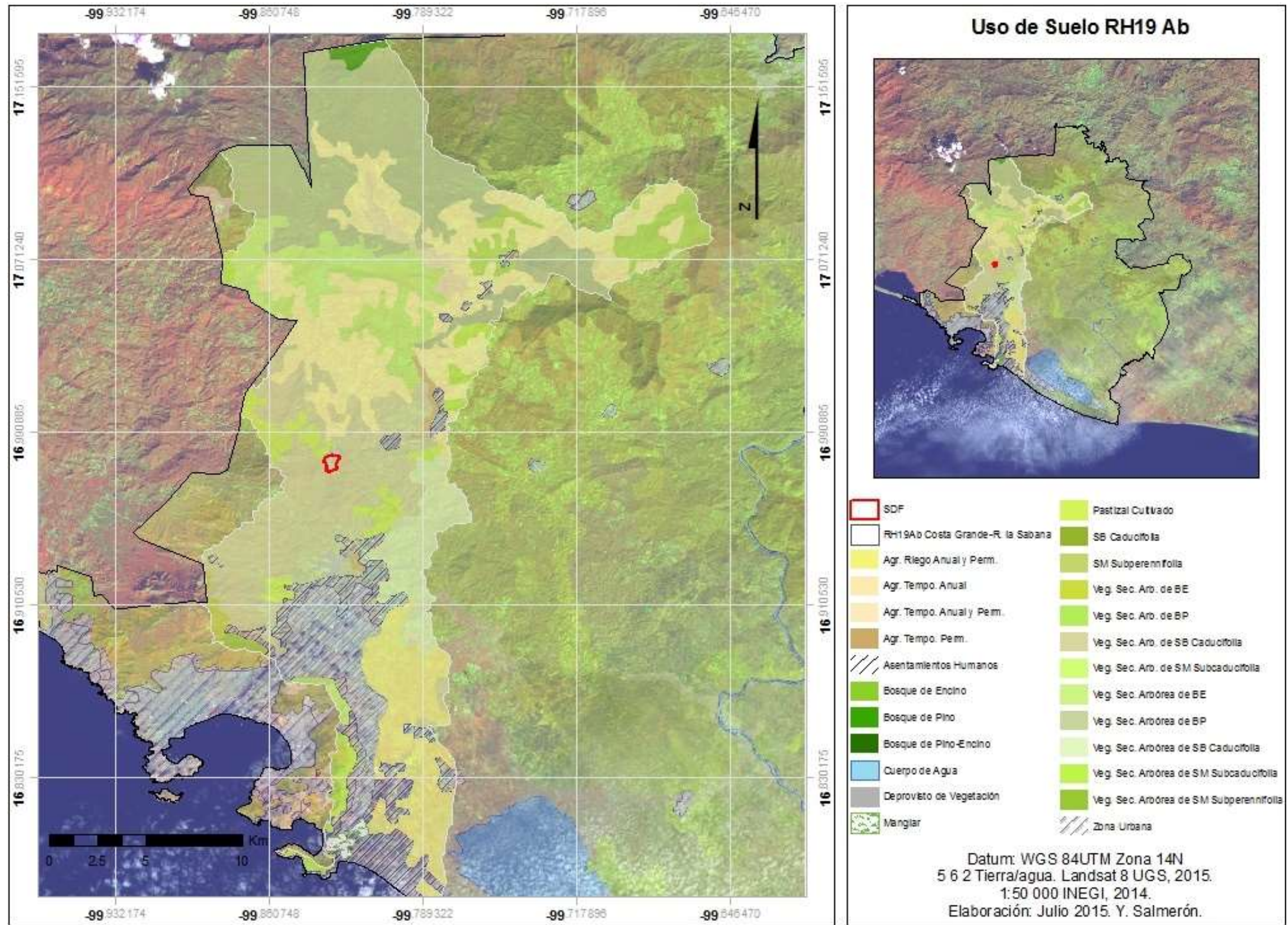


Figura 36. Mapa de uso de suelo RH19Ab. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

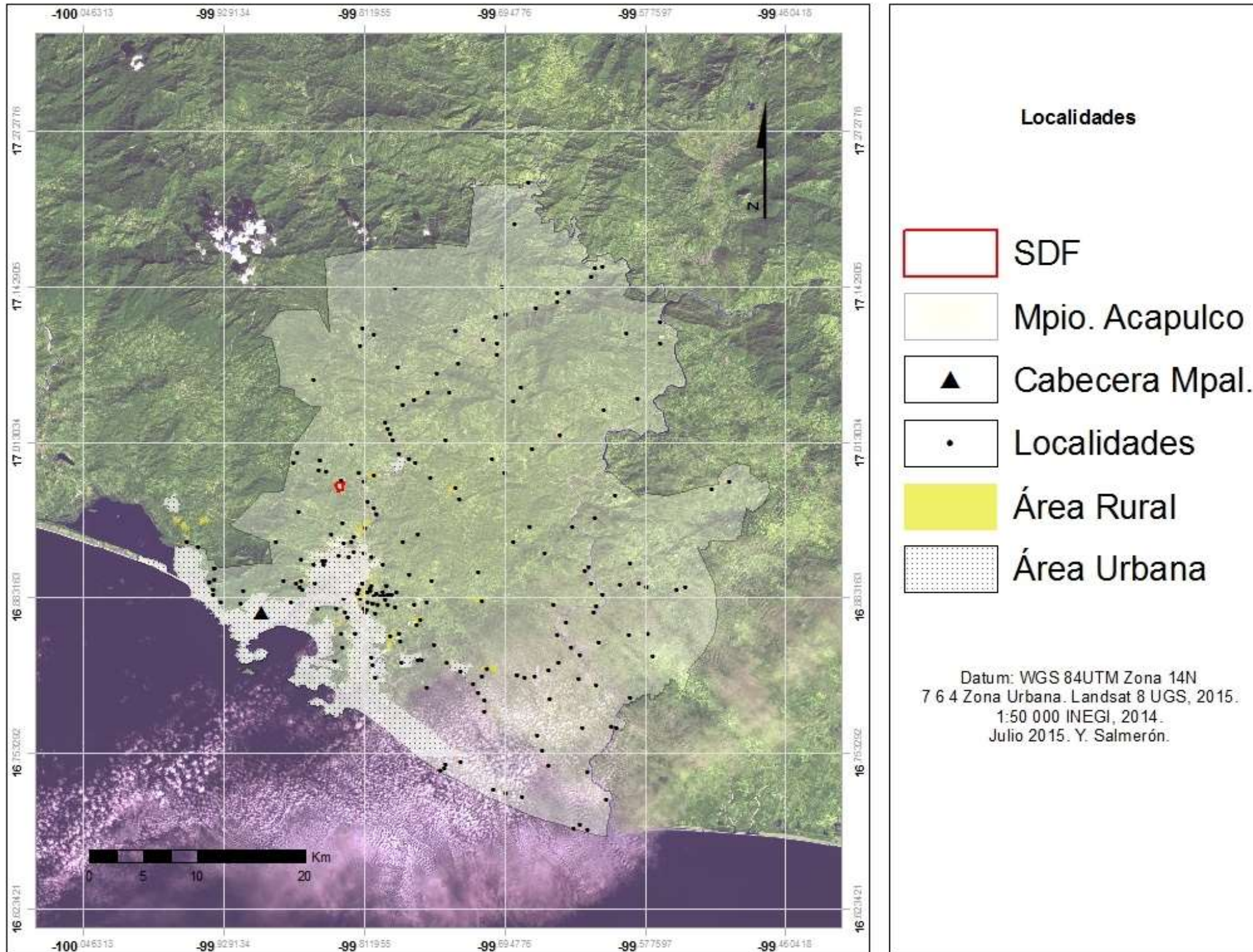


Figura 37. Mapa de localidades de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

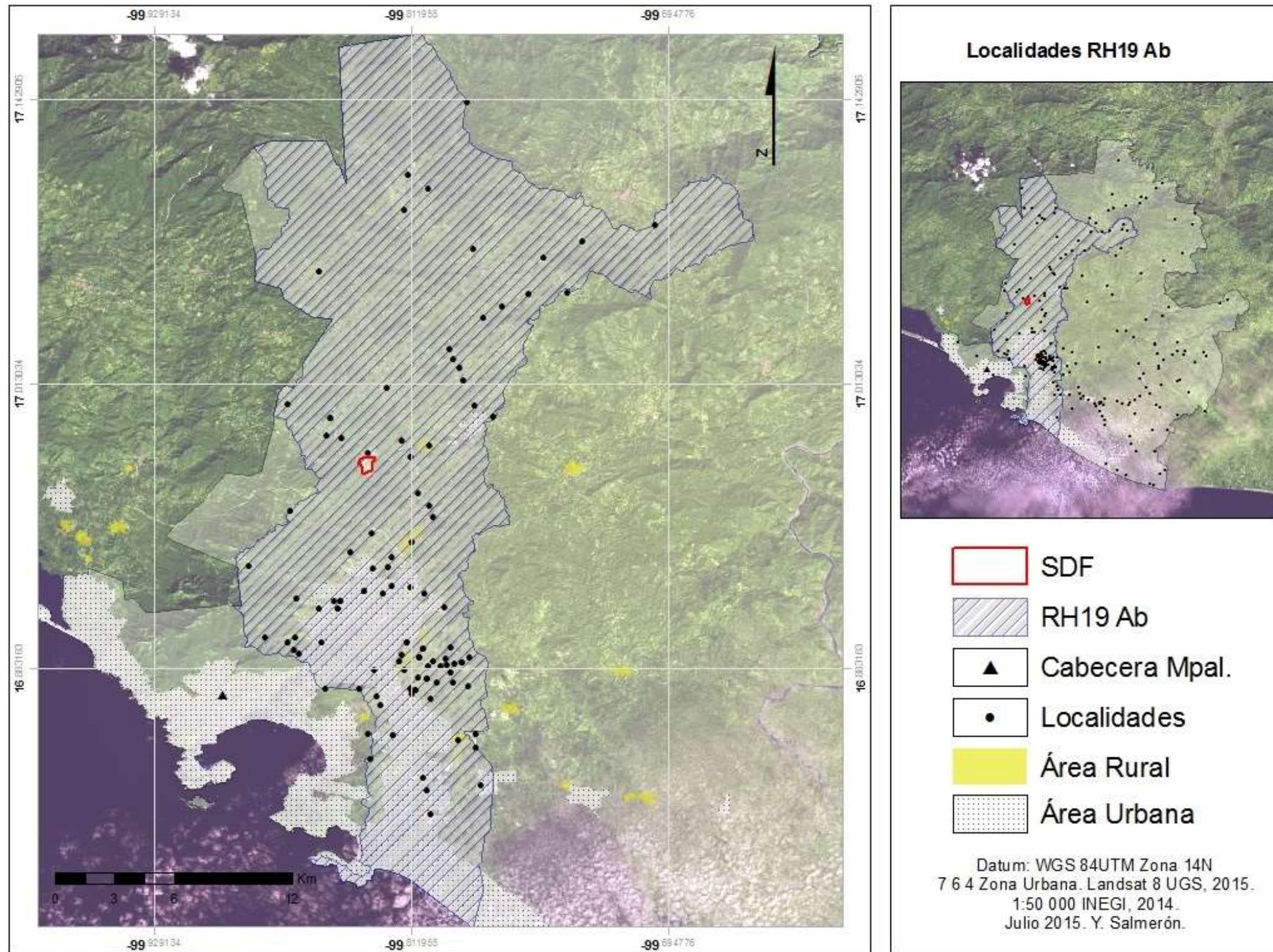


Figura 38. Mapa de localidades RH19Ab. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

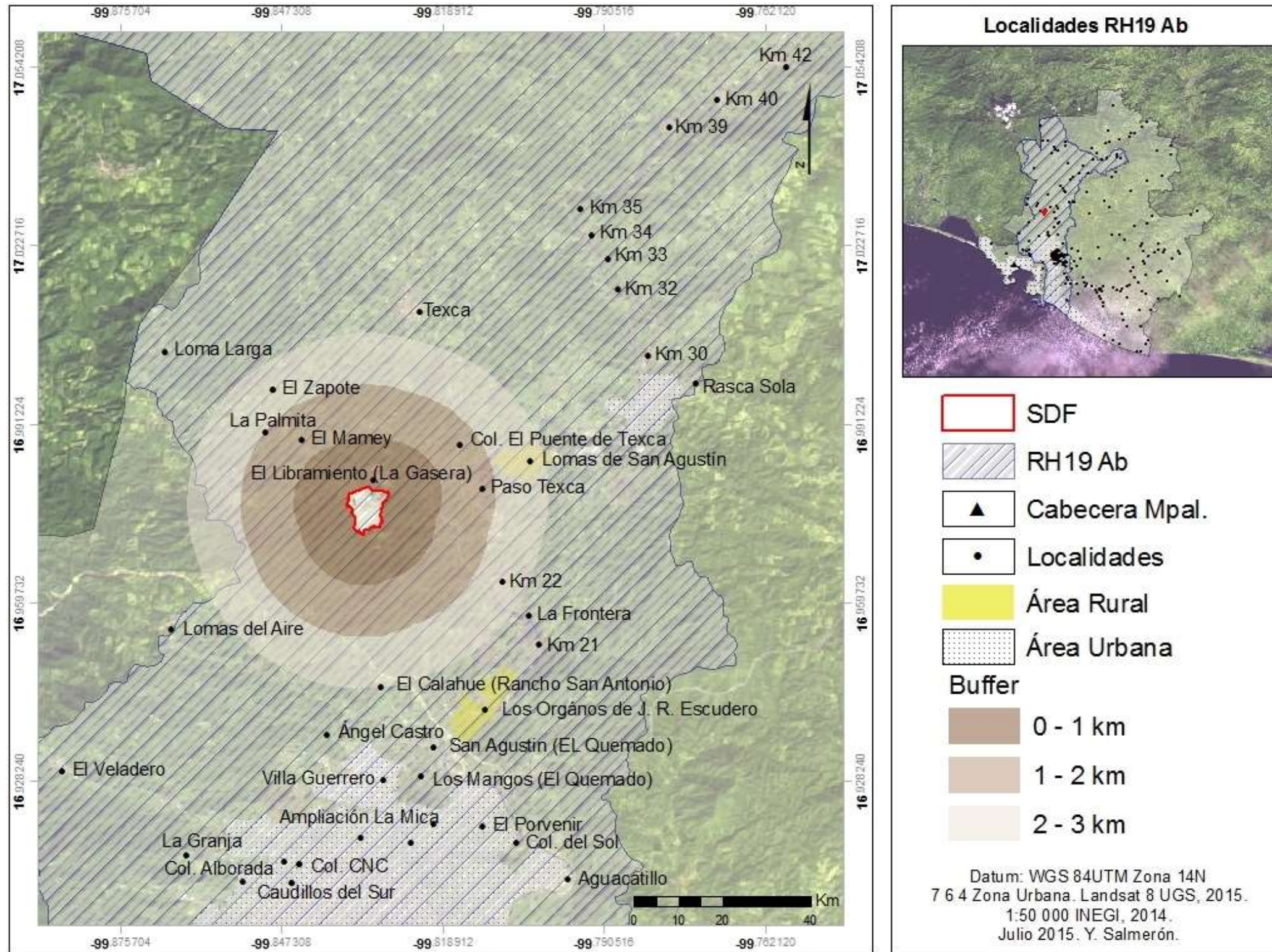


Figura 39. Mapa de localidades cercanas al SDF de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

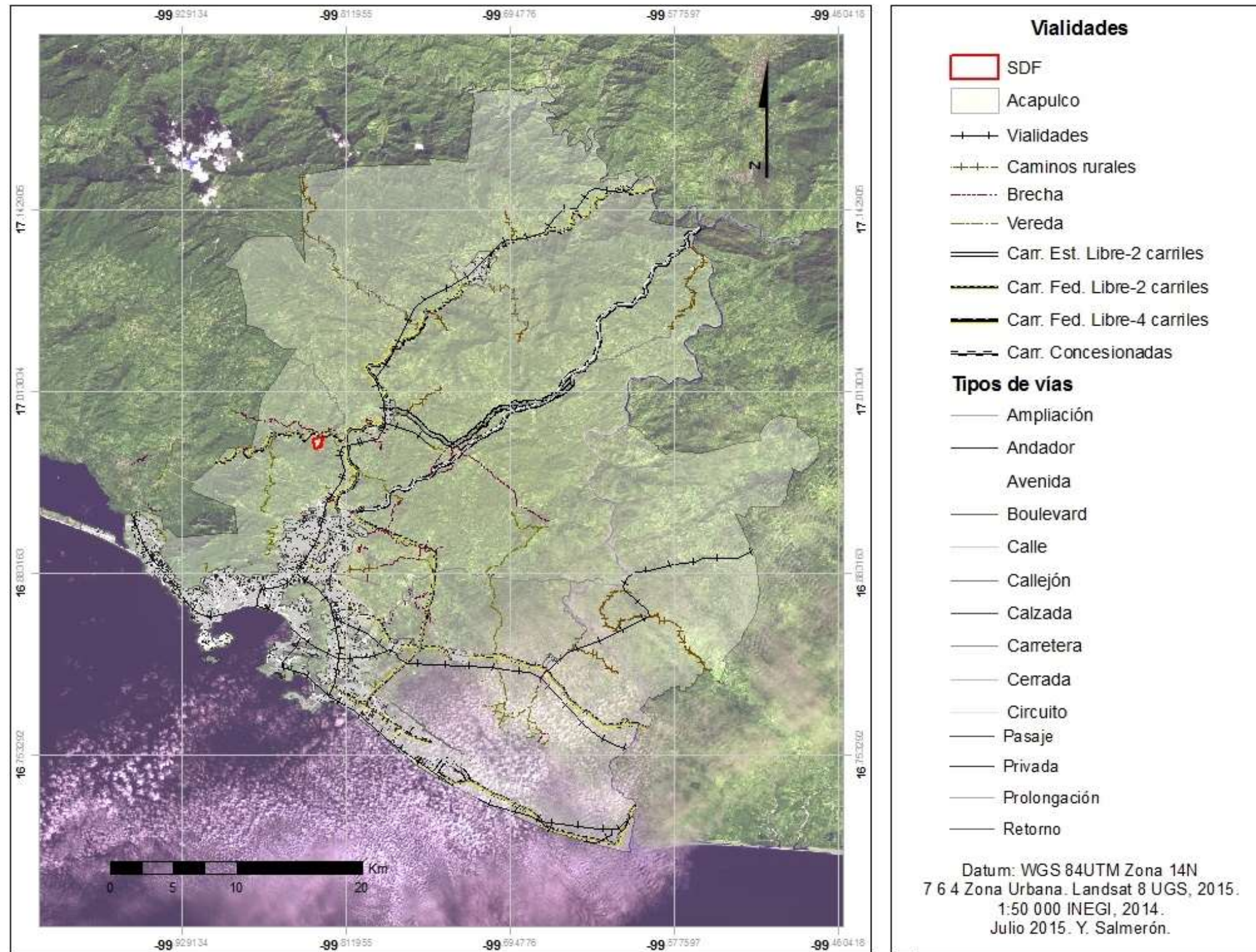


Figura 40. Mapa de vialidades de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

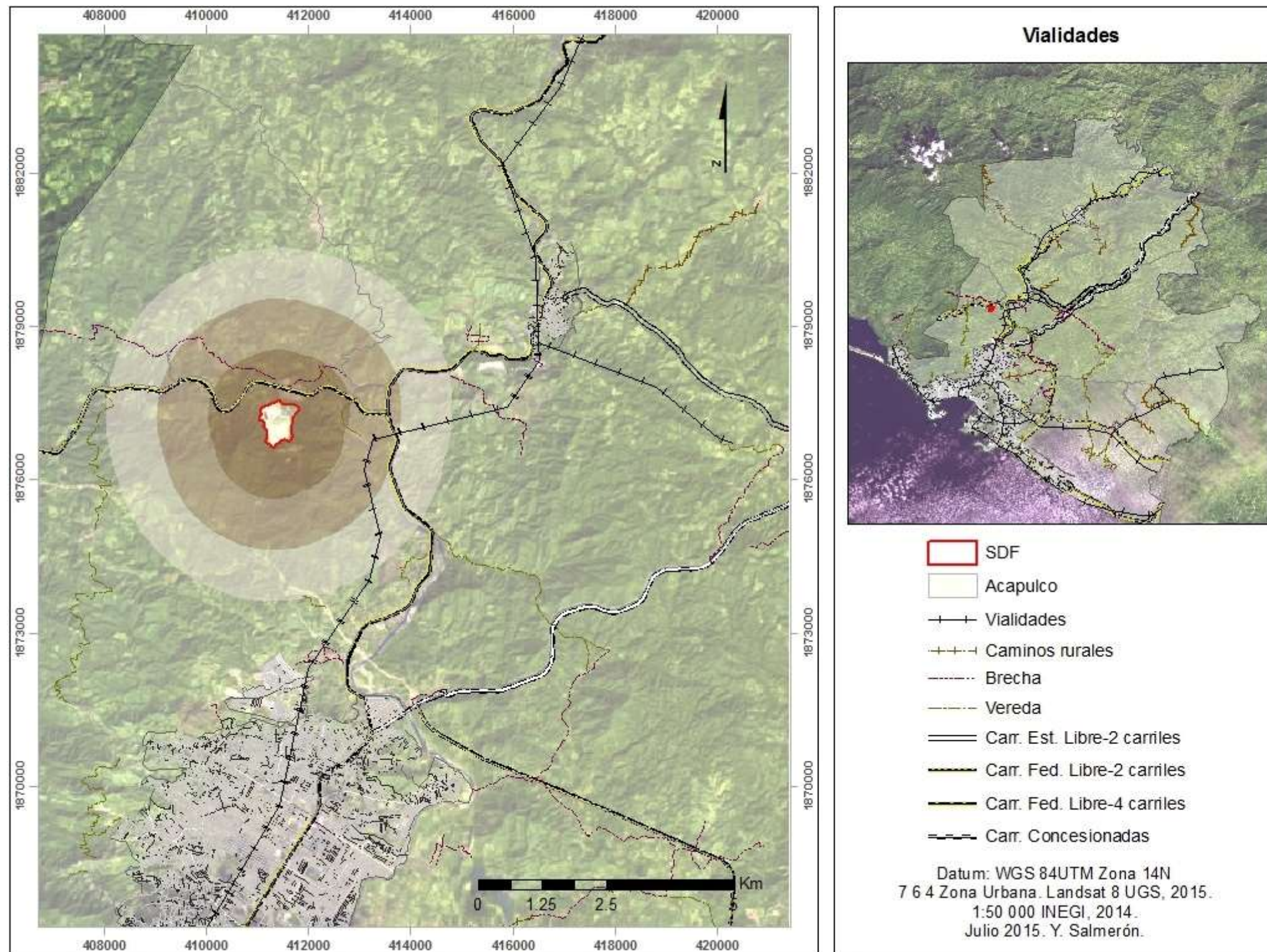


Figura 41. Mapa de vialidades cercanas al SDF de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con imágenes Landsat 8 del USGS, (2015) y archivos vectoriales de INEGI, (2014).

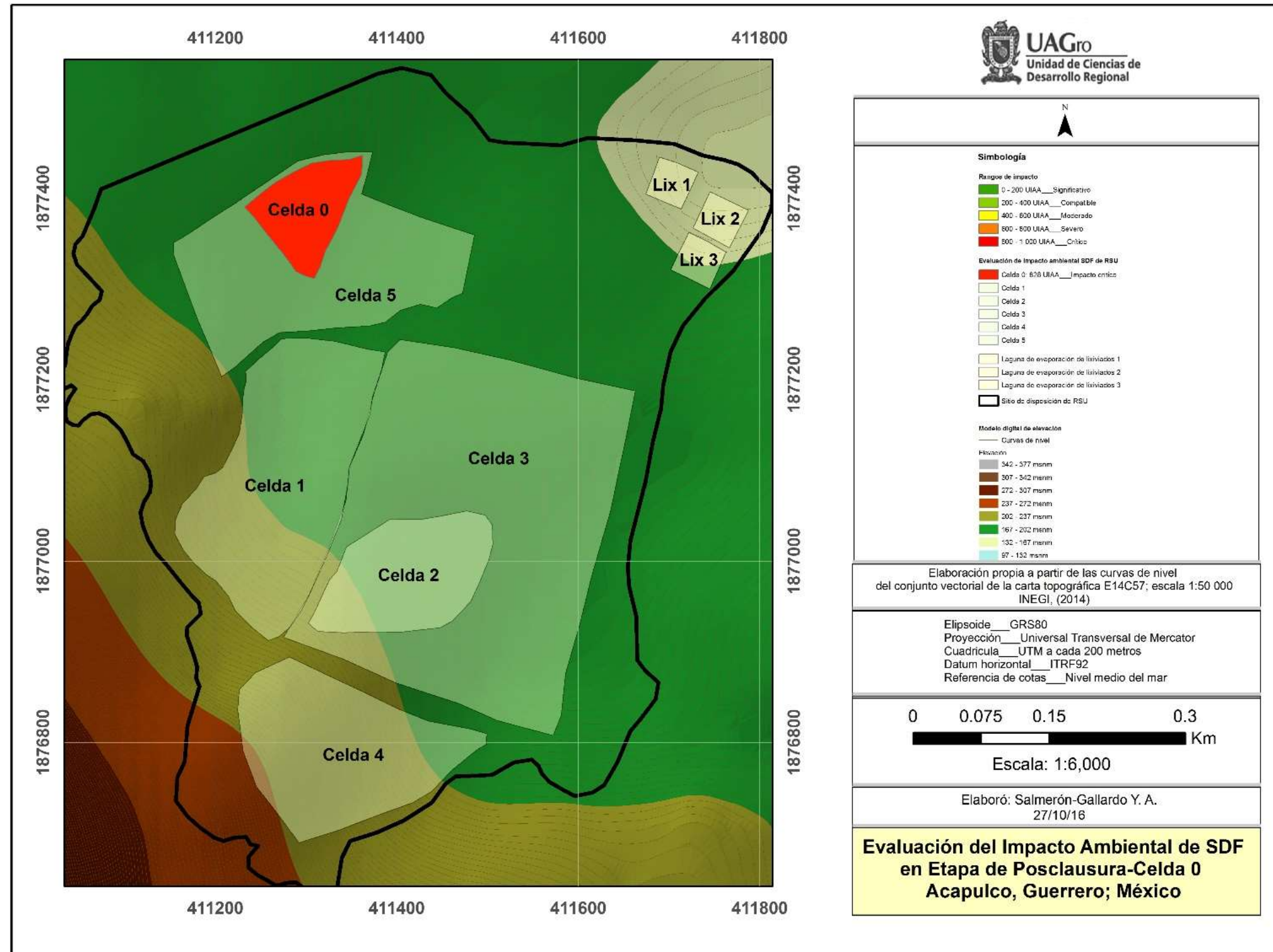


Figura 42. Representación del impacto ambiental en modelo de elevación digital (elaboración propia).

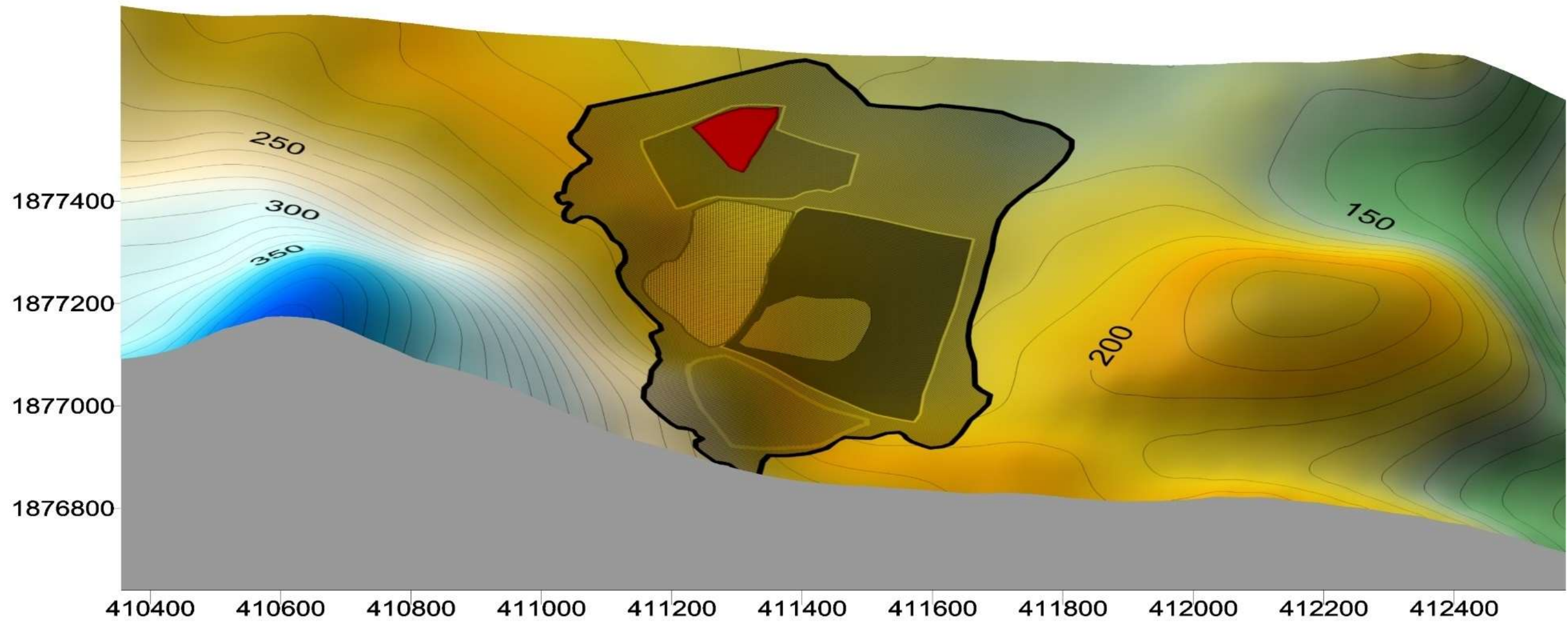


Figura 43. Representación del impacto ambiental en modelo de elevación digital 3D (elaboración propia).

6.3.1. Determinación de la huella de carbono en el manejo de RSU

Cantidad, composición y características de los RSU. En la Tabla 53, se presenta la tasa específica de generación de RSU (1.10 kg/per cápita/día). La generación diaria es de 869 toneladas y 317,173 toneladas anuales, siendo el municipio con mayor generación de RSU de Guerrero por el índice de generación per cápita, basado en el número de habitantes, ingreso, educación y actividad económica.

Tabla 53. Tasa específica de generación de RSU en Acapulco, Guerrero.

Número de habitantes	Kg/Per cápita/día	Kg/Per cápita/año	Toneladas/día	Toneladas/año
789, 971	1.10	402	869	317, 173

Fuente: Elaboración propia con datos de la herramienta MRS-GEI (IFEU, 2009).

En la Tabla 54, se presenta la composición de residuos y el porcentaje de peso húmedo con valores por *default* para EBI. La composición de RSU incluye residuos de comida durante la preparación y después del consumo; plásticos como el Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Polietileno Tereftalato (PET), Poliestireno (PS) y Cloruro de Polivinilo (PVC); el aluminio se considera por separado, y en la clasificación de “otros” se contemplan las fracciones de chatarra electrónica, cadáveres y huesos. El 64.6% de los residuos que se generan en el municipio son orgánicos y asumen propiedades físicas de 63% fósil y 27% renovable con valor calorífico de 6.8 MJ/kg con un contenido total de carbono de 24.1% y un porcentaje de humedad superior al 40%.

Tabla 54. Composición de los RSU y porcentaje de peso húmedo para EBI.

Componentes	Valores EBI	% Residuo húmedo
Residuos de comida	55.4%	41.9%
Residuos de jardines y parques	9.2%	14.0%
Papel, cartón	3.7%	9.3%
Plásticos	2.8%	6.5%
Vidrio	1.2%	1.9%
Metales ferrosos	1.4%	1.9%
Aluminio	0.2%	0.5%
Textiles	1.4%	3.3%
Hule, piel	1.4%	1.9%
Pañales desechables	0%	4.0%
Madera	3.5%	6.0%
Residuos minerales	6.0%	3.0%
Otros	13.8%	5.8%
Total	100.0%	100.00%

Fuente: Datos obtenidos con la herramienta MRS-GEI (IFEU, 2009).

Hermann *et al.*, (2011) señalan el compostaje doméstico como la mejor opción de tratamiento de residuos orgánicos ya que se tiene el beneficio adicional de producir un acondicionador del suelo; además, la temperatura natural que se utiliza en el hogar para realizar el compostaje tiene un gran efecto sobre la reducción de CH₄ y N₂O; por tal razón, el compostaje doméstico tiene mayor crédito en términos de reducción de la HdC. Por otra parte, Eriksson, Strid & Hnsson (2015), señalan que los vertederos son la peor opción para el tratamiento de los residuos orgánicos y sugieren que la incineración con recuperación de energía es la mejor opción para el manejo de residuos con alto porcentaje de humedad como los generados en Acapulco, Gro.

Reciclaje y disposición final de residuos. En la Figura 44, se presenta la situación actual del manejo de los RSU en el municipio. Anualmente se generan 317,173 toneladas de RSU, el 6% de los residuos generados (19,728 ton/a) se reciclan por el sector informal. Los materiales que se reciclan en mayor porcentaje son: papel y cartón (45%), plásticos (31%), metales ferrosos (12%), textiles (5%), vidrio (3%) y aluminio (3%). El 94% (297,445 ton/a) de los residuos son depositados bajo prácticas deficientes. El 60% (178,467 ton/a) se deposita en el SDF controlado del municipio; el 20% correspondiente al porcentaje que se dispone (59,489 ton/a) se sitúa en tiraderos silvestres, el 10% (29,745 ton/a) se queman al aire libre y el otro 10% (29,745 ton/a) se deposita de manera dispersa.



Figura 44. Reciclaje y disposición de residuos que se generan en el municipio, (resultados de la herramienta MRS-GEI).

Fitzgerald, Krones & Themelis (2012), señalan que el impacto ambiental ocasionado por las emisiones asociadas a la industria del reciclaje desde una perspectiva holística sobre la base de tonelaje y el tipo de material reciclado, el combustible y la electricidad consumida en las actividades de recolección y separación es poco significativo en comparación con las emisiones evitadas por el consumo de materia prima. Cífrían *et al.*, (2012), sugieren el uso de indicadores individuales para las tasas de reciclaje de fracciones separadas y la implementación de plantas de incineración para disminuir la cantidad de residuos biodegradables en los vertederos, lo cual favorecería una reducción de la HdC de entre 9% y 79%. En los municipios como Acapulco, se debe propiciar el reciclaje a través de instalaciones de recuperación de materiales mediante el reciclaje de flujo único, considerando que la eliminación de residuos mezclados es más cara que el tratamiento en el que los residuos se almacenan por separado según el tipo y naturaleza donde el aprovechamiento de materias primas reciclables puede ser de hasta 50%.

En la Tabla 55, se presentan las estimaciones de GEI expresadas en cargos, créditos, y resultados netos para las actividades de reciclaje, disposición, y la suma de estas actividades como el total de RSU. Los cargos son las emisiones que se originan durante la disposición de los RSU y durante el proceso de producción de los residuos reciclados. La fracción de residuos reciclados por el sector informal (6%) genera 8,459 ton/a CO_{2-eq} una vez que ingresa al procedimiento de transformación como materia prima reciclable; el depósito de residuos en el SDF controlado, en tiraderos silvestres, dispersos y quemados al aire libre generan 403,908 ton/a CO_{2-eq}; esto representa un total de cargos de 412,367 ton/a CO_{2-eq}.

Los créditos (-33,437 ton/a CO_{2-eq}) se presentan en números negativos porque son emisiones evitadas por el 6% de residuos reciclados; la disposición de RSU no proporciona créditos debido a las prácticas bajo las cuales se realiza el manejo de RSU en el municipio. Los cargos por los residuos reciclados (8,459 ton/a CO_{2-eq}) menos los créditos por las emisiones evitadas (-33,437 ton/a CO_{2-eq}) generan un resultado neto de -24,978 ton/a CO_{2-eq}.

El resultado neto derivado de los residuos reciclados (-24,978 ton/a CO₂-eq) menos el resultado neto de las actividades de disposición final (403,908 ton/a CO₂-eq) totalizan las emisiones de GEI en 378,930 ton/a CO₂-eq (378.93 Gg).

Tabla 55. Emisiones de GEI en cargos, créditos y resultados netos (Status Quo).

	Residuos reciclados ton/a CO ₂ -eq	Disposición final ton/a CO ₂ -eq	Total RSU ton/a CO ₂ -eq	Descripción
Cargos	8,459	403,908	412,367	Emisiones generadas por la disposición
Créditos	-33,437	0	-33,437	Emisiones evitadas por el reciclaje
Resultado Neto	-24,978	403,908	378,930	Emisiones de GEI en términos de HdC

Fuente: Elaboración propia con datos de la herramienta MRS-GEI (IFEU, 2009).

En la Figura 45, se muestra un gráfico con el balance de emisiones. Los cargos (color azul) son las emisiones de GEI causadas por el 6% de los residuos que se reciclan al ingresar al proceso de producción y por el 94% de los residuos que se depositan en el SDF controlado, en tiraderos silvestres, dispersos y quemados al aire libre. Los créditos en valores negativos (color naranja) representan el ahorro de emisiones por la materia prima evitada durante el reciclaje; la diferencia entre los débitos y los créditos representan el resultado neto de emisiones generadas por el manejo de los RSU en el municipio.

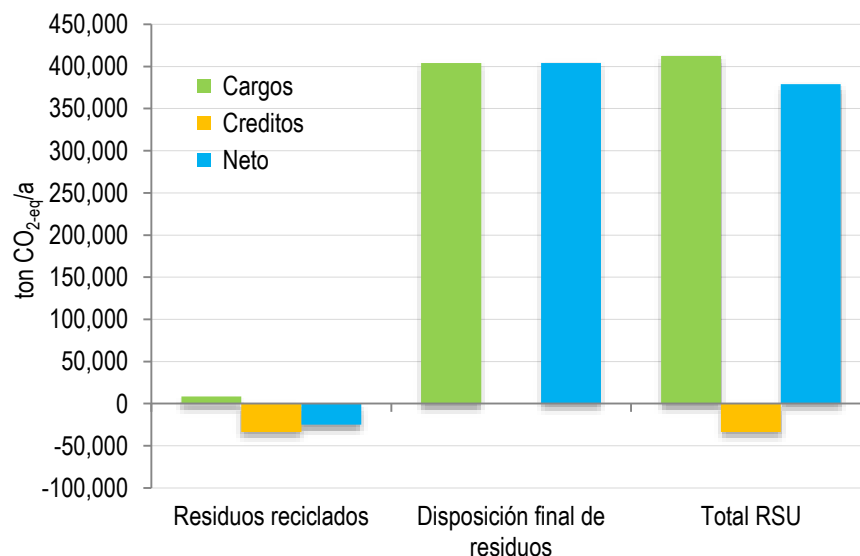


Figura 45. Balance de emisiones de GEI (resultados de la herramienta MRS-GEI).

A nivel nacional la categoría de energía genera 503,817 Gg CO₂-eq (67.3%); el sector de agricultura, 92,184 Gg CO₂-eq (12.3%); los procesos industriales, 61,226 Gg CO₂-eq (8.2%); el uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, 46,892 Gg CO₂-eq (6.3%) y desechos, 44,130 Gg CO₂-eq (5.9%) (INECC, 2010). Valdez *et al.*, (2015), calculan las emisiones de metano y óxido nitroso procedentes de los residuos agrícolas, y concluyen que las emisiones de N₂O se deben a la quema y aplicación de fertilizantes sintéticos. Saldaña-Munive *et al.*, (2015), determinan las emisiones de N₂O en municipios del estado de Puebla, y de la misma forma, señalan la quema de residuos agrícolas y el manejo del estiércol del ganado como fuentes importantes de GEI en la agricultura (0.182 Gg CO₂-eq); por lo tanto, las medidas de mitigación deben dirigirse a la reducción de aplicación de fertilizantes y a la búsqueda de alternativas sustentables de producción debido a que la agricultura es la segunda categoría de contribución de GEI en el país.

La categoría de desechos representa el 5.9% (44,130 Gg) de las emisiones de GEI en términos de CO₂-eq. Investigaciones desarrolladas en la Universidad Tecnológica de Salamanca por Vargas *et al.*, (2015), señalan la necesidad de implementar programas de gestión de RSU en las instituciones educativas mediante propuestas de acciones específicas para la reducción de la HdC teniendo como parte de los elementos esenciales la formación de comités para la ejecución de campañas de difusión a través de la educación ambiental. Arellano-Wences *et al.*, (2015), también mencionan la importancia de realizar programas de mitigación para la reducción de la HdC en las universidades, luego del estudio realizado en 2015 en el que cuantificaron las emisiones de GEI en Unidades Académicas de la Zona Sur de la Universidad Autónoma de Guerrero, reportando 15,987 t/a CO₂-eq (15.987 Gg CO₂-eq); este resultado representa el 4.21% en relación a la HdC que se estima para el municipio de Acapulco, Guerrero (378.93 Gg CO₂-eq).

Los cálculos para la determinación de la HdC del municipio se realizaron con un factor de emisión de GEI específico de México para la producción de electricidad (607 g CO₂-eq/kWh); el resultado obtenido representa el 0.85% de las emisiones del sector de los desechos a nivel nacional y está fuertemente determinado por la generación de CH₄

en el sitio de disposición final de Acapulco, Guerrero. Woon & Lo, (2013), indican que la generación de metano en los SDF constituye una amenaza y una oportunidad respecto del manejo de los RSU que se lleve a cabo, y proponen la reducción del CH₄ a través de la electricidad generada a partir de sistemas de recuperación de biogás como una medida que ha de adoptarse para hacer frente a las emisiones. Otra medida de mitigación se propone por Cifrian *et al.*, (2012), a través de la medición de la huella de carbono en el reciclaje; mediante estimaciones realizadas durante los años 2005 al 2010 en Cantabria, España reportaron cargos de 74,443 t/a CO₂-eq en 2005 a 67,697 t/a de CO₂-eq en 2010 y créditos de -179,527 CO₂-eq en 2005 a -310,566 t/a de CO₂-eq en 2010, concluyendo que el mayor ahorro de emisiones de GEI proviene del incremento en las tasas de reciclaje. Fitzgerald, Krones & Themelis, (2012), proyectan un ahorro de 710 kg CO₂-eq por tonelada de residuos reciclados debido al consumo de materiales vírgenes evitados.

Las estimaciones de la HdC para el municipio de Acapulco arrojan cargos de 8,459 ton/a CO₂-eq y créditos de -24,978 ton/a CO₂-eq por el consumo de materia prima evitada procedente del 6% (19,728 ton/a) de residuos que se reciclan por el sector informal, esto indica que el reciclaje se presenta como una oportunidad de reducción de GEI para el área de estudio. Sánchez-Santillán *et al.*, (2015), afirman que la influencia antropogénica en el comportamiento del clima ocasiona un grave impacto por el cambio en el uso del suelo; por consiguiente, surge la necesidad de realizar estimaciones que brinden información confiable ante el incesante aumento de generación de RSU en el estado de Guerrero con la finalidad de plantear estrategias de mitigación y adaptación ante el cambio climático global.

La composición de los RSU en conjunto con los datos obtenidos sobre la HdC, aportan información local pertinente para las decisiones de planificación regionales, ya que a través de estas estimaciones se presenta un escenario actual sobre el manejo de los RSU, identificando las actividades con mayores emisiones de los GEI. Por lo tanto, se tiene un punto de partida para acciones encaminadas a la promoción de los modelos de consumo responsables, compostaje de residuos orgánicos y aumento de la tasa de recuperación de materiales para dar lugar a la reducción de la HdC a fin de promover

la transición hacia la gestión sustentable. La herramienta GEI-MRS se basa en valores por default para economías de bajos ingresos, lo cual podría representar una limitante ante la ausencia información precisa; no obstante, ante los altos costos que representan los métodos directos y la inseguridad para acceder a los puntos de muestreo representa una línea base para futuras investigaciones pues brinda resultados que ofrecen una aproximación cuantitativa confiable que podrían considerarse en los proyectos de inventarios estatales, de esta manera, el trabajo puede hacerse extensivo a los demás municipios del estado de Guerrero para aportar elementos que permitan fortalecer la política estatal en materia de manejo de RSU.

6.3.2. Generación de biogás en el SDF de RSU

En la Figura 46, se presenta la composición de los RSU de Acapulco, Guerrero; el 67.8 % de los residuos generados son orgánicos y el 32.2% inorgánicos. La clasificación incluye residuos de comida, papel, cartón, poda de jardines, madera, caucho, piel, huesos, paja, textiles, papel higiénico, pañales (asumiendo 20% orgánico y 80% inorgánico), metales, residuos de construcción y demolición, vidrio, cerámica y plásticos. Aguilar-Virgen *et al.*, (2012), reportan valores promedio de 64% de residuos orgánicos generados en comunidades urbanas de Baja California (Mexicali 66.43% y Ensenada 68.57%); al igual que en el municipio de Acapulco, el grado de componentes orgánicos es alto lo cual determina el índice de generación de metano (k) y el potencial de generación de metano (L_0).

En la Figura 47, se muestran las proyecciones de disposición de RSU estimadas para cada año, desde el inicio de las actividades del SDF en el año 1998 hasta el 2020, año de cierre proyectado; asimismo se presentan las toneladas de RSU acumulados durante todo el ciclo de vida útil del SDF. Las estimaciones se realizaron con los datos de generación de RSU contenidos en la HdC y se estima un aumento de generación de residuos del 2% anual. En el año 1998 se depositaron 222,100 ton/a de residuos; en el año actual se estiman 317,173 ton/a y para el año de clausura se estima una disposición de residuos de 343,300 ton/a de RSU.

En el año 2020 habrá una disposición acumulada de 6, 403,773 toneladas de RSU en el SDF de Acapulco, Guerrero. Mebarki *et al.*, (2015), señalan la importancia del reciclaje de materiales no sólo para minimizar el uso de recursos no renovables, sino también para reducir la cantidad de residuos añadidos a los vertederos. En el municipio sólo se recicla el 6% de los residuos por el sector informal, el 94% de los RSU se depositan en el SDF controlado, un medio que se considera económico pero que sigue representando un riesgo para el ambiente y la salud pública.

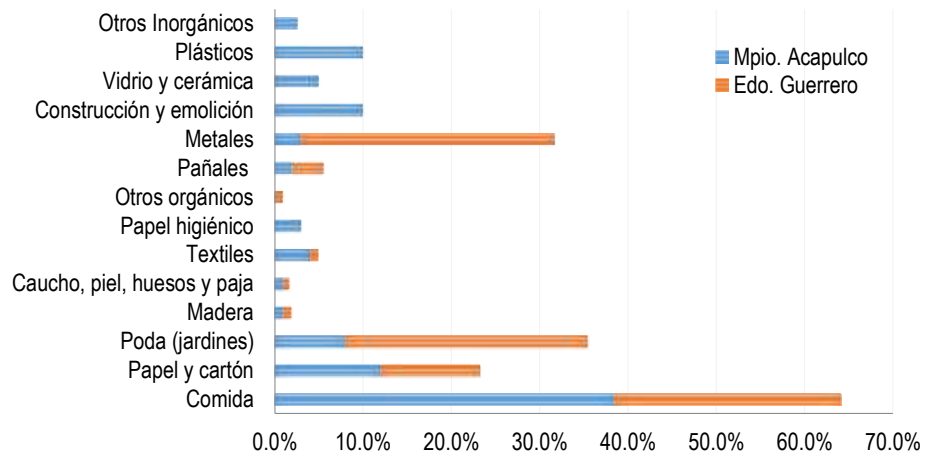


Figura 46. Caracterización de RSU: datos específicos para el área de estudio, (resultados del MMB).

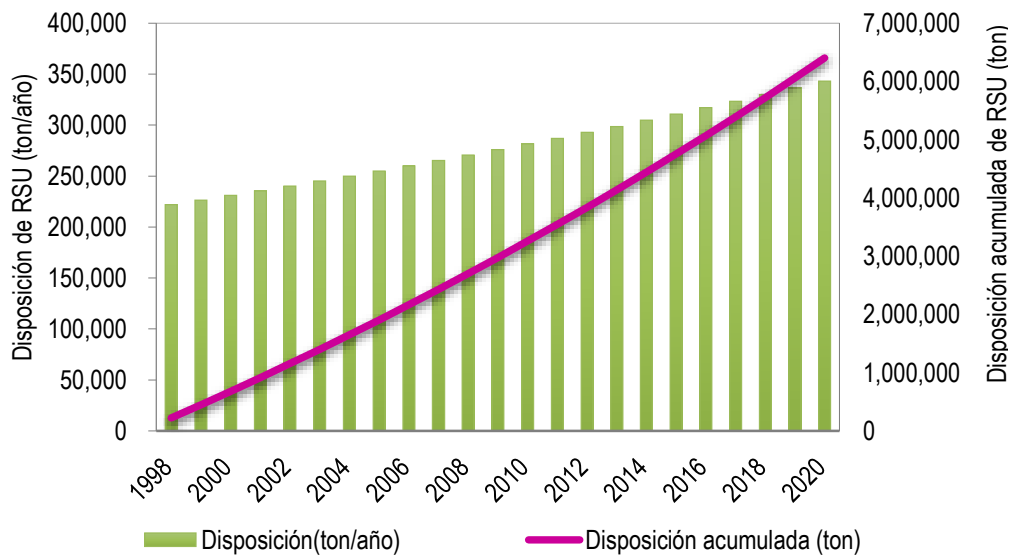


Figura 47. Proyecciones de disposición de RSU, (elaboración propia con datos del MMB).

Valores del índice de generación de metano (k). La Tabla 56, muestra los valores de (k) para la región Oeste de acuerdo con la ubicación del municipio de Acapulco, Guerrero. Se observan valores para cada categoría de degradación dentro del rango 0.07 para sitios húmedos. El rango de (k) se basa en la disponibilidad de nutrientes para las bacterias generadoras de metano, el pH, la temperatura y sobre todo el contenido de humedad con más de 1,000 milímetros de lluvia anual, debido a que en el área de estudio la precipitación pluvial anual varía de 1,500 a 2,000 milímetros.

Tabla 56. Valores del índice de generación de metano (k) para el SDF de Acapulco, Gro.

Grupos de residuos orgánicos	Índice de generación de CH ₄ (k)
Degradación rápida (DR)	0.220
Degradación moderadamente rápida (DMR)	0.100
Degradación moderadamente lenta (DML)	0.040
Degradación lenta (DL)	0.020

Fuente: Datos obtenidos con el modelo mexicano de biogás (USEPA, 2009).

Valores para la generación potencial de metano (L_o). En la Tabla 57, se observan los valores de (L_o) basados en el contenido de materia orgánica (67.8%) y las prácticas de operación del SDF tales como el control de la disposición en un área específica, la ausencia de incendios y explosiones, el recubrimiento de las celdas 2 a 5 con geomembranas sintéticas, la profundidad superior a los 5 metros, los RSU cubiertos diariamente con material originado de las celdas lo cual reduce las emisiones de biogás a la atmosfera así como la infiltración de aire y lluvia, la compactación es mayor a 600 kg/m³ por lo que habrá menos infiltración de aire y la calidad de biogás podría ser mejor. Las características señaladas estiman un alto potencial de generación de metano que podría producirse en el SDF de Acapulco por tonelada de residuos degradados. Sin embargo, los niveles de lixiviados también son altos, lo que limita la eficiencia de captura asociada a la alta precipitación del lugar que determina un nivel de humedad elevado.

Factor de corrección de metano (MCF). El factor de corrección de metano estima un valor de 1.0 basado en las características de profundidad y las prácticas de manejo realizadas en el SDF de Acapulco, Guerrero. Este ajuste de estimación para la generación de biogás considera un grado de degradación anaeróbica aceptable y un 50% de contenido de metano en el biogás.

Tabla 57. Valores para la generación potencial de metano (L_0) del SDF de Acapulco, Guerrero.

Categoría de residuos orgánicos	Potencial de generación de CH ₄ (L_0) (m ³ /ton)
Degradación rápida (DR)	69
Degradación moderadamente rápida (DMR)	126
Degradación moderadamente lenta (DML)	214
Degradación lenta (DL)	202

Fuente: Datos obtenidos con el modelo mexicano de biogás (USEPA, 2009).

Proyecciones de generación y recuperación de biogás. En la Tabla 58, se muestra la disposición anual y acumulada del SDF de Acapulco, Guerrero (*Status Quo*). En el año 2020 se propone la implementación del sistema de captura de biogás para la mitigación de emisiones de GEI. Las estimaciones realizadas suponen la recuperación de biogás con una eficiencia de captura típica para un SDF controlado de 61% y una reducción de 170,743 ton/a CO_{2-eq} durante el primer año de captura de biogás, esto representa una disminución del 45.05% respecto de la huella de carbono determinada en la primera parte de esta investigación que se totaliza en 378,930 ton/a CO_{2-eq}.

Aguilar-Virgen *et al.*, (2012), reportan una eficiencia de captura de 66% para el SDF de Tijuana que presenta el 76.75% de materia orgánica, en ambos casos un porcentaje mayor determinado por la generación de RSU fuertemente relacionado con el tipo de economía y el número de habitantes en comparación con el municipio de Acapulco, Guerrero.

En el año 2003, el proyecto de captura de biogás de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, obtuvo 8 MW de electricidad con el que abasteció el 52% del alumbrado público de siete municipios; aunque la capacidad para generar energía eléctrica en el SDF de Acapulco, Guerrero sólo representa 4.3 MW en su contenido más elevado, de acuerdo con Themelis-Nickolas & Ulloa-Priscilla, (2007), la captura y combustión de biogás es un método eficaz a considerar ya que contribuye a mejorar la calidad del agua, del aire y la reducción de emisiones de GEI mediante la recolección de lixiviados y los combustibles fósiles evitados durante los procesos convencionales de generación de electricidad, del mismo modo, disminuye el riesgo y la vulnerabilidad al evitar la exposición de la población aledaña al olor del metano.

Tabla 58. Proyecciones de generación y recuperación de biogás del SDF de Acapulco, Guerrero.

Año	Disposición (ton/año)	Disposición acumulada (ton)	Generación biogás (m ³ /hr)	Eficiencia captura (%)	Recuperación biogás (m ³ /hr)	Capacidad electricidad (MW)	Reducción emisión	
							CH ₄ ton/a	CO _{2-eq} ton/a
2016	317,173	5,070,373	3,732					
2017	323,500	5,393,873	3,863					
2018	330,000	5,723,873	3,993					
2019	336,600	6,060,473	4,122					
2020	343,300	6,403,773	4,250		2,593	4.3	8,131	170,743
2022		6,403,773	3,897		2,377	3.9	7,454	156,540
2024		6,403,773	3,129		1,909	3.2	5,985	125,693
2026		6,403,773	2,554		1,558	2.6	4,885	102,587
2028		6,403,773	2,115		1,290	2.1	4,046	84,960
2030	Clausura	6,403,773	1,774	61%	1,082	1.8	3,394	71,275
2032		6,403,773	1,505		918	1.5	2,880	60,471
2034		6,403,773	1,290		787	1.3	2,467	51,811
2036		6,403,773	1,114		680	1.1	2,132	44,772
2038		6,403,773	970		592	1.0	1,856	38,978
2040	Posclausura	6,403,773	850		519	0.9	1,627	34,158

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del modelo mexicano de biogás (USEPA, 2009).

En la Figura 48, se visualizan los resultados de las proyecciones de generación y recuperación de la situación actual del municipio de Acapulco; existe una disminución exponencial a medida que se consume la fracción orgánica de los residuos; transcurridos 20 años desde la clausura del SDF, el modelo mexicano de biogás asume el consumo total de la fracción orgánica para la etapa de posclausura; resultando oportuno el aprovechamiento del metano durante los primeros 10 años del ciclo de vida del vertedero, momento en el que se obtiene una importante fuente de electricidad; después la clausura el metano disminuye gradualmente, el vertedero se considera maduro y entra a la fase de fermentación presentando un rápido porcentaje de degradación.

Mambeli-Barros *et al.*, (2014), determinan que la producción de electricidad a partir de biogás es sustancialmente rentable a través de mecanismo de incentivos para mejorar y ampliar las plantas de energía, en países desarrollados existen políticas de incentivos que ofrecen una garantía adicional de retorno de la inversión y la rentabilidad. Sin embargo, Zamorano *et al.*, (2007), señalan que a pesar de los beneficios ambientales y sociales que representa la captura y el uso del biogás, su

aplicación en los países en vías de desarrollo podría verse limitado por la falta de cumplimiento de la legislación, el rendimiento financiero desfavorable para los fondos de inversión, la falta de conocimientos tecnológicos, y la disponibilidad de infraestructura. A efecto de lo anterior, es importante considerar que la viabilidad económica también depende de la calidad del biogás, los precios locales de la energía, las especificaciones de los criterios económicos para la tecnología de generación de electricidad, el costo de operación y mantenimiento así como los impuestos sobre el carbón y la energía para la protección del ambiente.

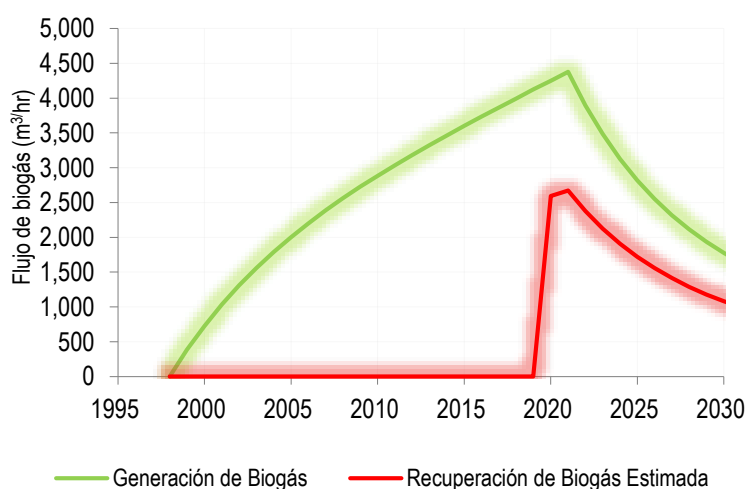


Figura 48. Proyecciones de generación y recuperación de biogás del SDF de Acapulco, Gro. (Status Quo).

Para el SDF de Acapulco, Guerrero se estima una baja capacidad de generación de energía eléctrica (4.3 MW) debido a que se define como un vertedero maduro (>10 años) donde el metano entra en una fase de fermentación presentando un rápido porcentaje de degradación (>70%). No obstante, resulta un método a considerar debido a la capacidad de reducción de las emisiones de GEI; los valores de (k) y (L_0) podrían aumentar a fin de mejorar la capacidad de generación de energía a través de mejoras en las prácticas de manejo del SDF para evitar las fugas de emisiones a la atmosfera y las infiltraciones al subsuelo.

Las estimaciones de recuperación y generación de biogás enfrentan una incertidumbre significativa por la falta de información; sin embargo es necesario estimar los riesgos ambientales para proponer medidas de valorización para los residuos; si se colecta todo el CH₄ de los vertederos se podría generar una importante fuente de electricidad,

pero debido a las limitaciones económicas y de infraestructura como en el caso del municipio de Acapulco, Guerrero, se enfrenta a un reto superior; pese a esto, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE, 2012), señala la importancia de determinar la cantidad de biogás producido y su evolución en el tiempo para evaluar proyectos de inversión, en función de la naturaleza de los combustibles y el alto costo de los equipos principales de acondicionamiento del gas y de generación eléctrica, así como los efectos ambientales que generan.

Los resultados aportan parámetros necesarios para el aprovechamiento de los residuos como fuente de energía renovable e información de utilidad para las autoridades en el proceso de planificación a través de acciones específicas como la reducción de materia orgánica, el reciclaje y la captura del biogás; cabe destacar la importancia del reciclaje no sólo para minimizar el uso de recursos no renovables, sino también para reducir la cantidad de residuos depositados en los vertederos a consecuencia de aumentar el ciclo de vida útil, ya que se sigue considerando un medio económico en los países en vías de desarrollo aunque en la práctica el costo resulta elevado y representan un riesgo para el ambiente y la salud pública.

6.3.3. Descripción de los factores ambientales de la zona de estudio

Las imágenes seleccionadas para la descripción de los factores ambientales del área de estudio, corresponden al satélite Landsat-8, puesto en órbita el 11 de febrero de 2013 como iniciativa conjunta entre el servicio geológico de los Estados Unidos y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio por sus siglas en inglés NASA. Estas imágenes tienen 11 bandas espectrales, 9 para el Sensor Operacional Imagen Tierra por sus siglas en inglés OLI, y 2 para el Sensor Térmico Infrarrojo por sus siglas en inglés TIRS (USGS, 2015). La Figura 49, presenta las bandas espectrales de la imagen Landsat-8, que se descargaron como un lote de archivos .zip con formato .tif para el “color natural” o falso color, GeoTiff para la escala de grises “térmicos” y .png para la banda de control de “calidad” de aproximadamente 1 GB (comprimido) y aproximadamente 2 GB (sin comprimir).

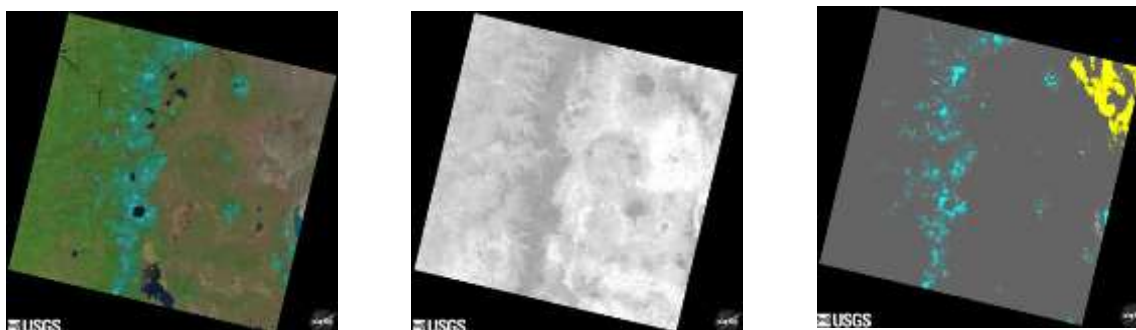


Figura 49. Imágenes Landsat-8 “color natural” o falso color, “términos” y “calidad”, (USGS, 2015).

La Tabla 59, muestra los valores de resolución de las 11 bandas que conforman el espectro electromagnético de las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor OLI y TIRS tienen una resolución temporal de 16 días, una resolución radiométrica de 16 bits, un área de cobertura de 170 kilómetros de norte a sur y 183 kilómetros de este a oeste. Se caracterizan por tener una resolución espectral superior a las imágenes satelitales del Landsat-5 y del Landsat 7 (USGS, 2015).

Tabla 59. Distribución de las bandas en los sensores OLI y TIRS.

Plataforma sensor	Bandas	Resolución espectral (μ)	Resolución espacial (m)
Landsat-8 Operational Land Imager (OLI); Thermal Infrared Sensor (TIRS)	B1: aerosol costero (pancromático)	0.52-0.90	30
	B2: visible-azul	0.450-0.515	30
	B3: visible-verde	0.525-0.600	30
	B4: visible-rojo	0.630-0.680	30
	B5: Infrarrojo (cercano-rojo)	0.845-0.885	30
	B6: (SWIR 1)	1.560-1.660	30
	B7: (SWIR 2)	1.560-1.660	30
	B8: pancromático	0.500-0.680	15
	B9: cirrus	1.360-1.390	30
	B10: infrarrojo Térmico (TIRS) 1	10.30-11.30	100
	B11: infrarrojo Térmico (TIRS) 2	11.50-12.50	100

Fuente: (USGS, 2015).

El producto final adquirido de nivel 1 ortorectificado geométricamente con proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM) con datum de referencia espacial del Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84 y zona 14N, tiene 90% de confianza de exactitud global del sensor operacional imagen tierra y 90% del sensor térmico Infrarrojo (USGS, 2015). En la Tabla 60, se desglosa la identificación de entidad del producto obtenido (LC80260482015178LGN00), correspondiente al día 178 del año 2015 con menor cobertura de nubes para el rango de datos de búsqueda.

Tabla 60. Nomenclatura del producto de Nivel 1, LC80260482015178LGN00.

Identificador	Descripción
L	Nombre de la misión: Landsat.
C	Tipo de sensor con que se tomaron los datos del producto: Combinado OLI y TIRS.
8	Número de misión Landsat.
026	Localización de la órbita satelital en referencia global al path del producto: System-2 (WRS-2), coordenadas: 17.34422.
048	Localización de la órbita satelital en referencia global al row del producto: System-2 (WRS-2), coordenadas: -99.43052.
2015	Año de adquisición de la imagen.
178	Día del año de adquisición de la imagen: 27 de junio de 2015.
LGN	Identificación de la estación terrena.
00	Versión.

Fuente: (USGS, 2015).

A continuación se describen los factores ambientales de la zona mediante la composición de bandas espectrales de imágenes Landsat-8 del USGS (2015) y archivos vectoriales del INEGI, (2014).

Municipio de Acapulco de Juárez. Se localiza al sur del estado de Guerrero; al norte colinda con los municipios de Coyuca de Benítez, Chilpancingo de los Bravo y Juan R. Escudero; al sur con el municipio de San Marcos; al este con los municipios de Juan R. Escudero y San Marcos y al oeste con el Océano Pacífico y el municipio de Coyuca de Benítez. En la Figura 25, se presenta la localización de Acapulco, Guerrero; con una extensión territorial es de 1, 882,60 km² lo que representa el 2.6% de la superficie del estado, la longitud de litoral es de 62 km representando el 12.3% de la costa de Guerrero; conforma una de las siete regiones económicas del estado y es la ciudad más poblada de los 81 municipios (INEGI, 2006a; INEGI, 2006b; INEGI, 2010).

Hidrología. La Región Hidrológica (RH) en la que se ubica el municipio de Acapulco es la 19A, Costa Grande; cuenca: Río Atoyac y Subcuenca: Río La Sabana (Figura 27). El área correspondiente a la RH 19A es de 1 264 736 Km² con un perímetro de 922.86 Km, siendo una de las más grandes del estado. En la Figura 28, se muestra la subcuenca Río La Sabana que ocupa el 24.89% de la superficie municipal; La Bahía de Acapulco el 6.75% y la Laguna de Tres Palos el 15.84% de la superficie municipal. En la Figura 50, se muestra el Río La Sabana que presenta un coeficiente de escurrimiento de 20 % y un flujo de caudal de 853.34 m³/s (INEGI, 2008).

Clima. En la Figura 51, se presenta el clima A(w1) que se define como cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media. El A(w1), representa el 61.38% de la superficie municipal. El clima A (w0) denominado cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad, representa el 25.90% para la región Acapulco. La temperatura media anual es de 27.9°C, la mínima 24.5 °C y la máxima es de 31.3°C (INEGI 2005a).

Temperatura. Los máximos y mínimos de temperatura corresponden al doble paso del sol por el cenit en los meses de mayo y de junio. El mínimo principal es en enero y el segundo en febrero. En la Figura 52, se presenta la temperatura promedio anual para el municipio de Acapulco es de 27.9°C, teniendo una temperatura del año más frío de 23.3°C y del año más caluroso de 32.3°C (INEGI 2005a).

Precipitación. La precipitación media anual para el municipio de Acapulco es de 1,324 mm, estableciendo una precipitación del mes más seco de 36.0 mm, con un porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% anual. La precipitación media anual de 265 mm a 286 mm de acuerdo a los datos del servicio meteorológico nacional, estación: 00012142 Acapulco de Juárez (INEGI 2005a).

Aire. En el área de estudio no existen grandes complejos industriales, pero la influencia de la zona urbana y la periferia, causan contaminación por la quema de residuos y la producción de incendios forestales en la época de sequías, provocados por las quemas de tlacocoles y pastizales, repercutiendo en la calidad del aire; su severidad se relaciona con la cantidad de materia orgánica muerta y la radiación solar incidente (INEGI 2005a).

Vientos. La circulación superficial de vientos en la región es determinada por la diferencia térmica orográfica, la altitud que va del nivel del mar a 250 msnm, y el clima cálido subhúmedo que moderan la temperatura. La estación meteorológica nacional GR48- Acapulco_Semar indica una racha de vientos al oeste y sureste. La velocidad del viento de 4 km/h a 11 km/h llegando a los 14 km/h (INEGI 2005a).

Geología. Se localizan dos tipos de materiales geológicos el J(Gn) Gneis y el J(Igia) Ígnea Intrusiva acida de la era mesozoica que corresponde al periodo Jurásico del suelo cuaternario Q(s). En la figura 53, se presenta la unidad litológica Gneis J(Gn) que corresponde al 48.48% de la superficie municipal con morfología de montañas, laderas con pendientes y lomeríos al sur y sureste (INEGI, 2015).

Relieve, elevaciones y cerros. Se localizan relieves accidentados (40%); semiplanos (40%) y planos (20%). En la Figura 54, se presenta la altitud del municipio que varía desde el nivel del mar en la zona costera hasta 1 800 metros. Las alturas máximas están representadas por los cerros: Yerba Santa (1 120 msnm), El Encanto (1 020 msnm) y el cerro El Veladero (900 msnm), éste último rodea parte de la ciudad y es conservado ecológicamente desde 1980 (INEGI, 2005b; INEGI, 2005c).

Fallas o fracturas. Guerrero se encuentra en una zona sísmica por su cercanía a las placas de cocos, se generan sismos de magnitudes mayores a 7° en la escala de Richter. En la Figura 32, se muestran las fracturas que se localizan en el municipio con dirección Noroeste-Sureste, resultando susceptible a temblores de alto grado por la cercanía al mar (INEGI, 2005b; INEGI, 2005c).

Suelos. En la Figura 55, se encuentran las combinaciones edafológicas de LPeuli+RGeulep+CMcrlep/2r (Leptosol eutrico lítico + Regosol gelico leptico + Cambisol cromico leptico con texturas gruesas), y RGeuar+RGskpar+RGeulep/1r (Regosol eutrico arenico + Regosol esquelético plaguico + Regosol eutrico leptico con texturas finas) y Zona Urbana (ZU) (INEGI, 2005b; INEGI, 2005c).

- Los Leptosoles se caracterizan por la profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión dependen de factores ambientales.
- Los Cambisoles tienen un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo, cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato.
- Regosol, estos suelos presentan poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. Son claros y pobres en materia orgánica.

Erosión. En la Figura 56, se presenta la degradación de suelo por pérdida de la función productiva, erosión hídrica, degradación de cerros deforestados y con pendientes pronunciadas, debido al cambio de uso de suelo para actividades turísticas, urbanas, agrícolas o ganaderas. El grado de erosión que del municipio es fuerte, en lomeríos y llanuras la erosión es menor pero siempre se presenta en zonas con poca vegetación.

Vegetación. En la Figura 57, se muestran los tipos de vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino (BQ/VSa), vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (SBC/VSa), vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia (SMQ/VSA) y vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subcaducifolia (SMS/VSa). La Figura 58, muestra el uso de suelo con asentamientos humanos y zona urbana con manchones de pastizal inducido (INEGI, 2012).

- La vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, reside en formaciones vegetales de origen tropical y árido, más del 75% de las especies pierden sus hojas en la época seca del año, se caracteriza por un estado de sucesión de la vegetación mediante la observación de la vegetación original eliminada o perturbada y la que surge.
- La vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia, se encuentra entre los 300 y 700 msnm. Este tipo de vegetación se observa perturbada y desmontada por la explotación comercial y la agricultura.
- El pastizal inducido surge cuando se desmontan áreas de la vegetación nativa. En Acapulco, sobre todo en la periferia los árboles son utilizados para la sombra del ganado y como cercos vivos originando este tipo de vegetación.
- La zona urbana del municipio de Acapulco se agrupa en 10 áreas geográficas ocupadas por manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas y andadores, denominadas Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB's). En el municipio, el uso de suelo de las AGEB's es principalmente habitacional, industrial, de servicios, turístico y comercial; En el municipio se encuentran 14 localidades (incluyendo la cabecera municipal) que superan los 2 000 habitantes en una extensión territorial de 1,882.6 km², lo que representa el 2.95% de la superficie estatal total.

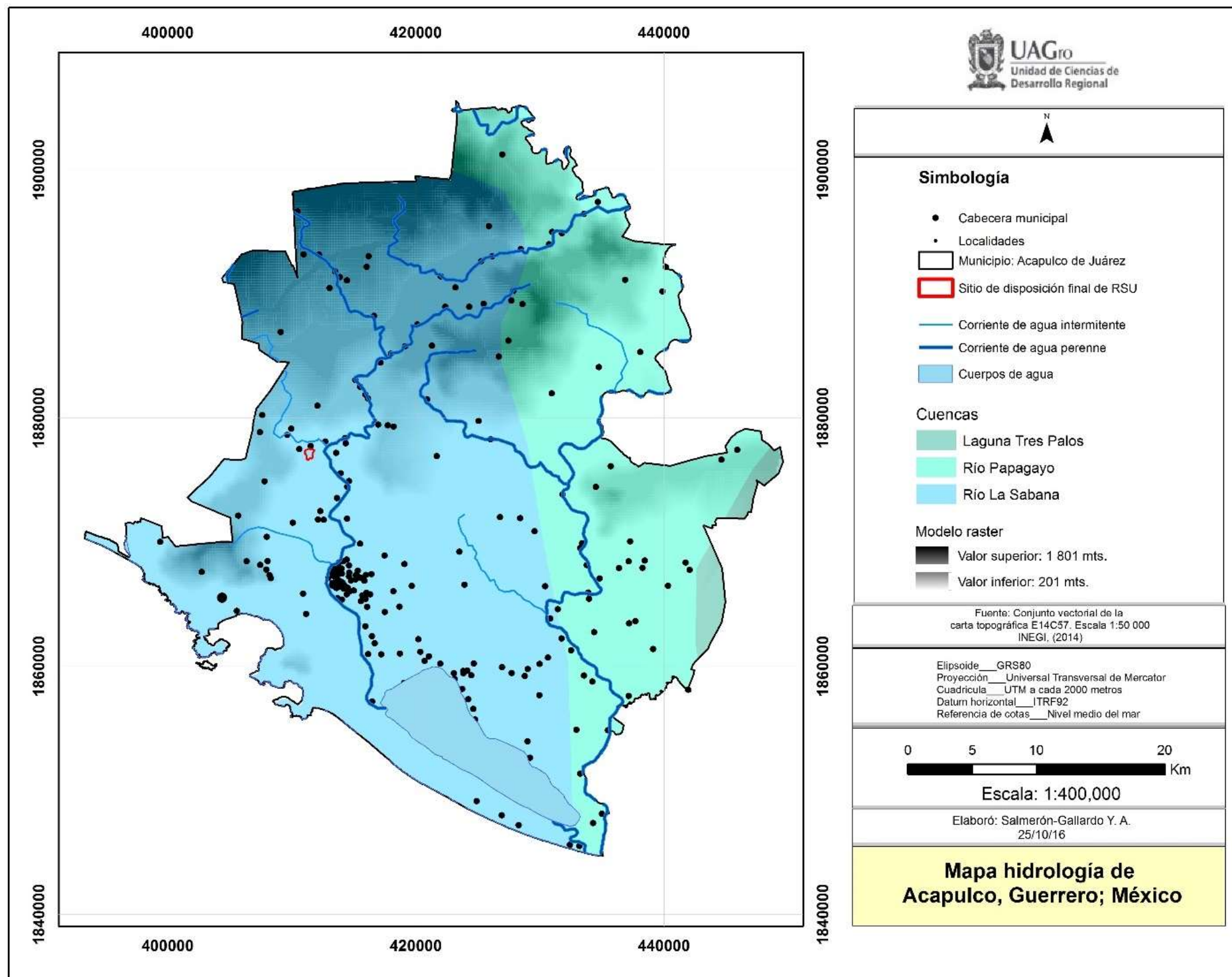


Figura 50. Mapa de hidrología de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

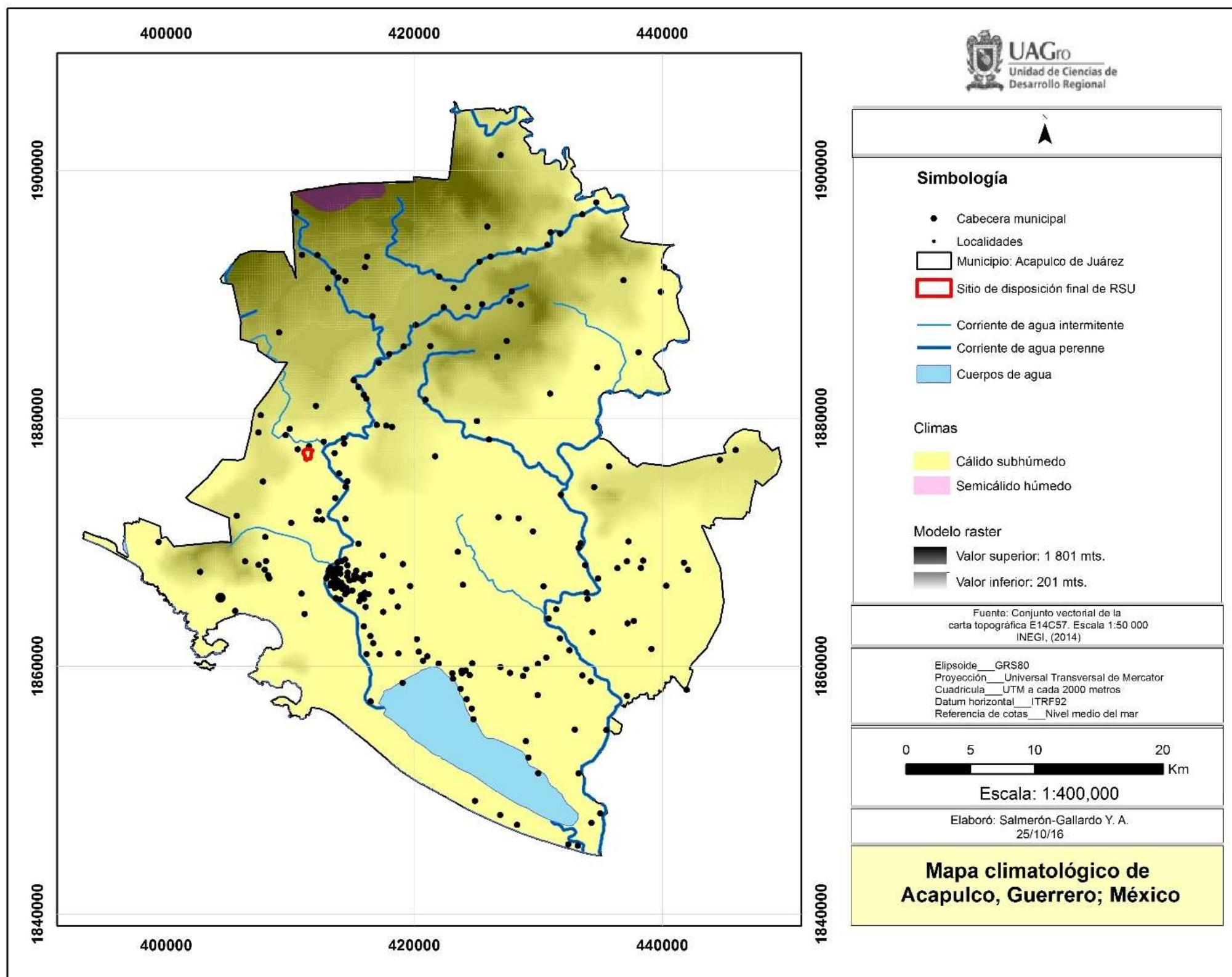


Figura 51. Mapa climatológico de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

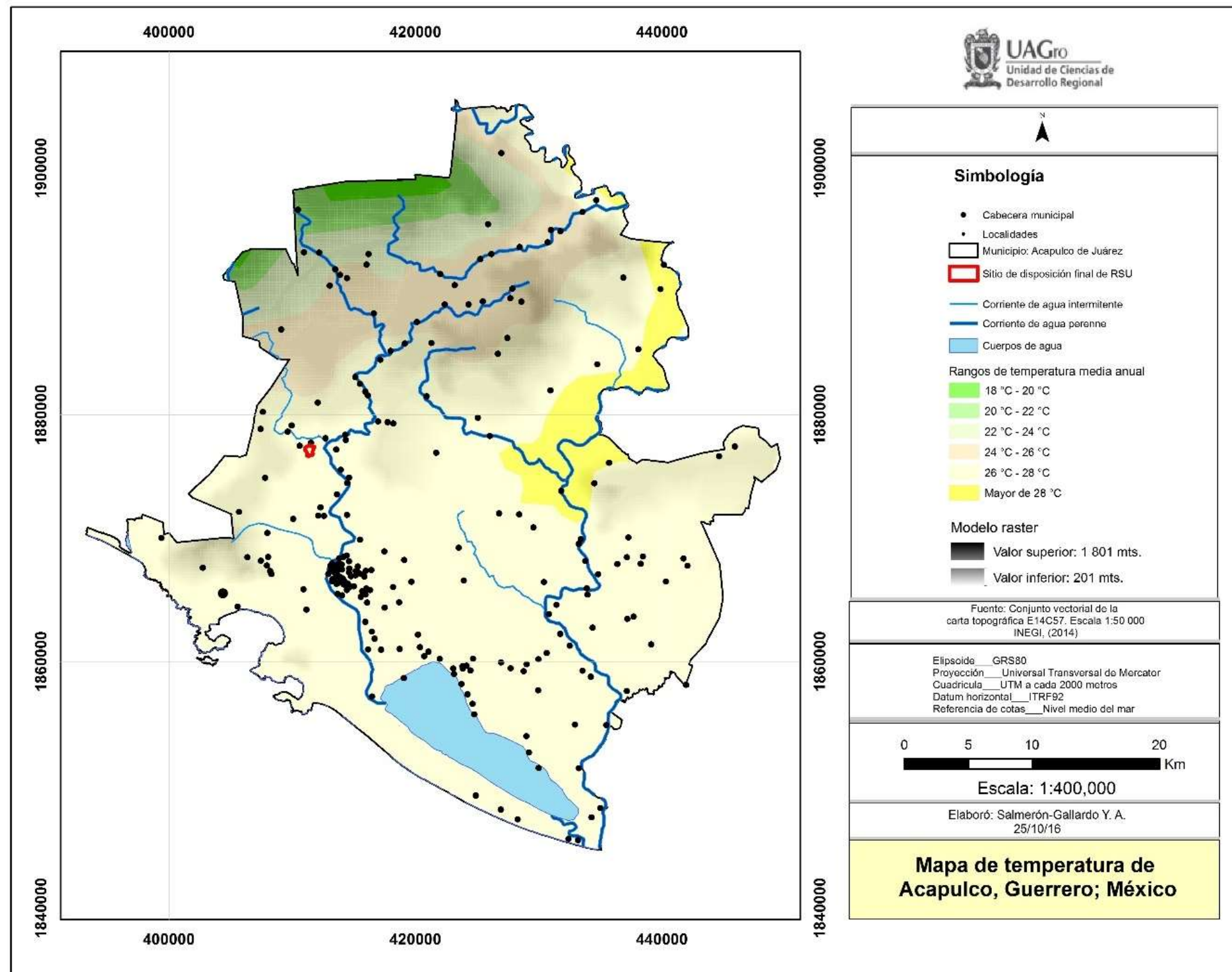


Figura 52. Mapa de temperatura de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

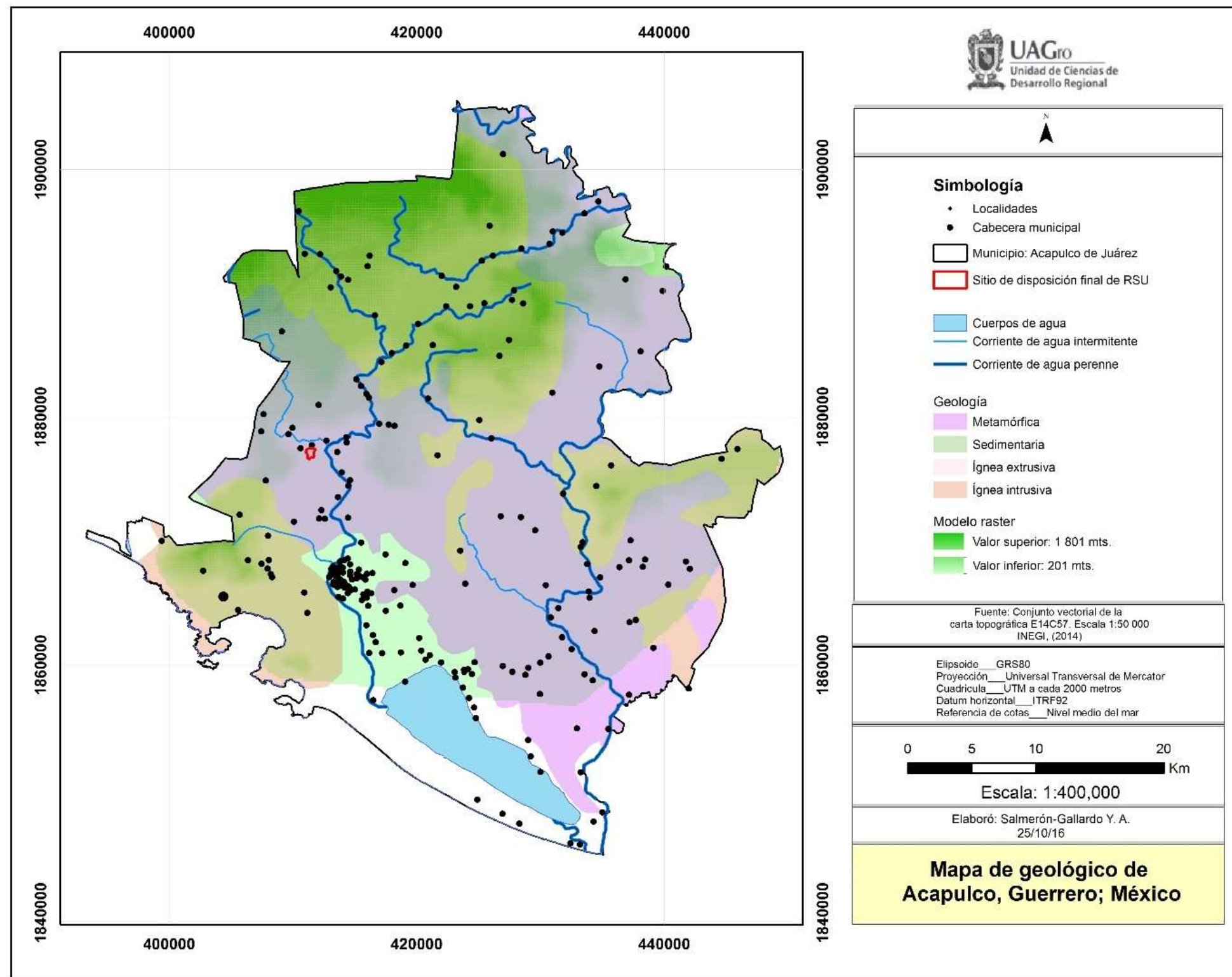


Figura 53. Mapa geológico de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

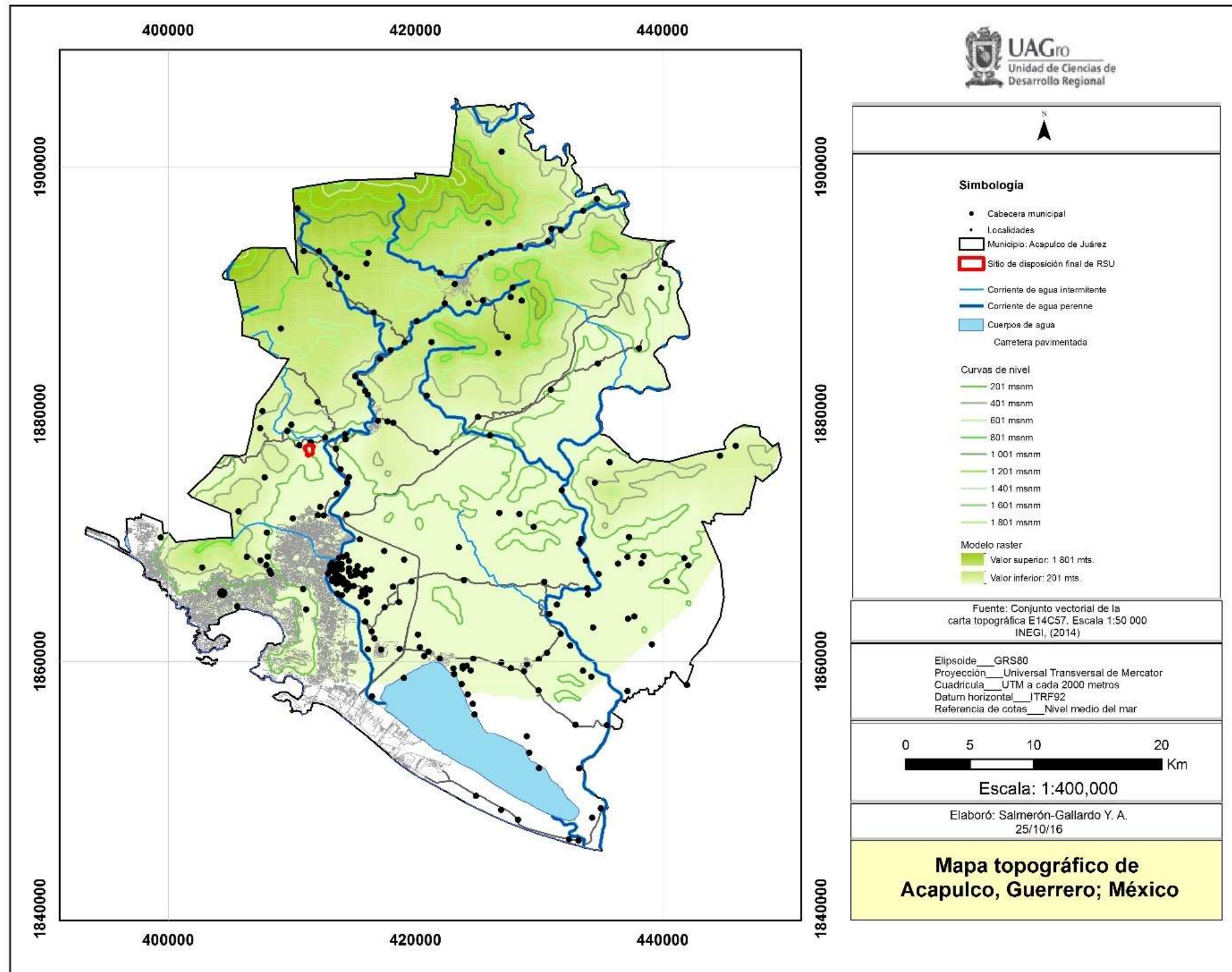


Figura 54. Mapa topográfico de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

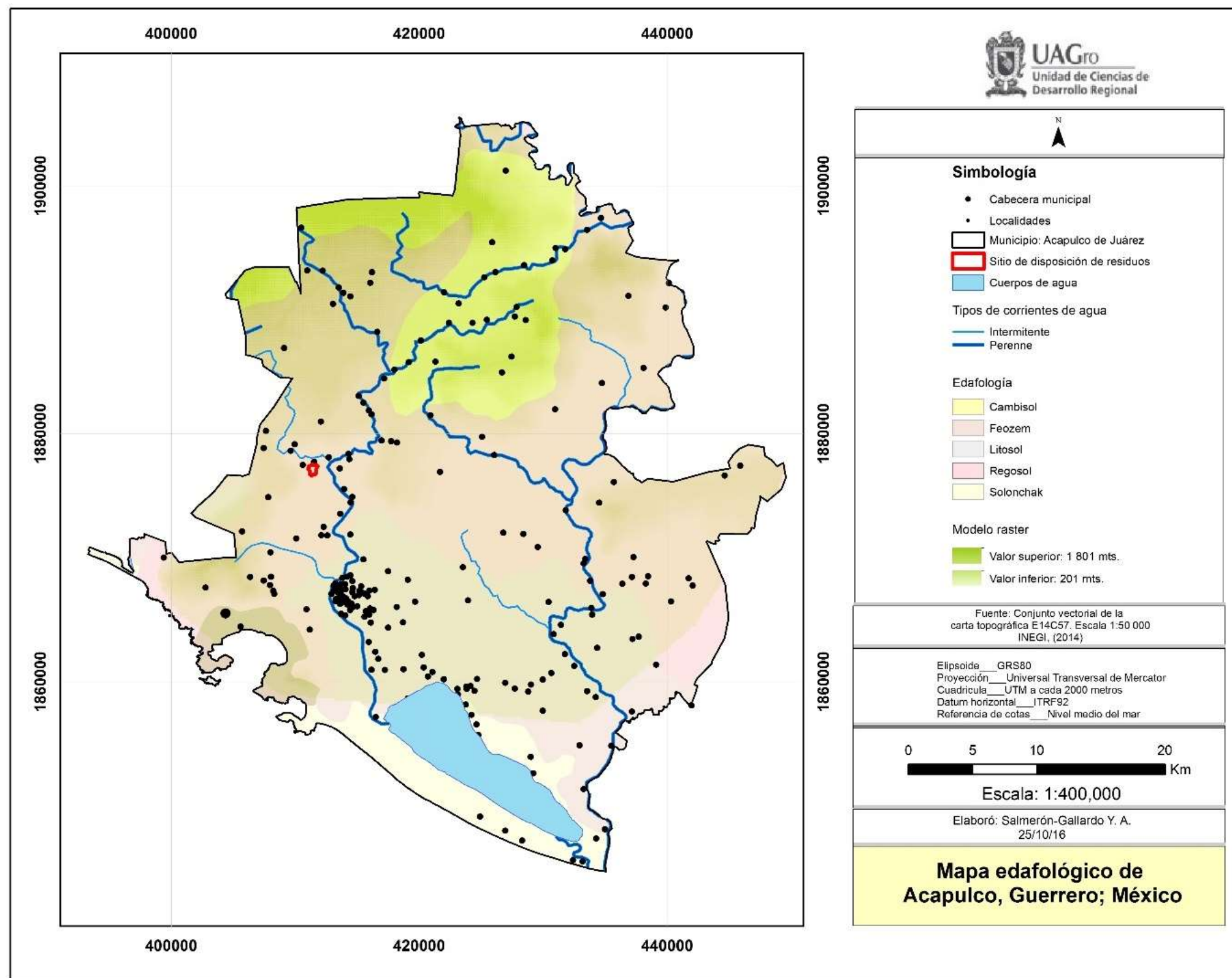


Figura 55. Mapa edafológico de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

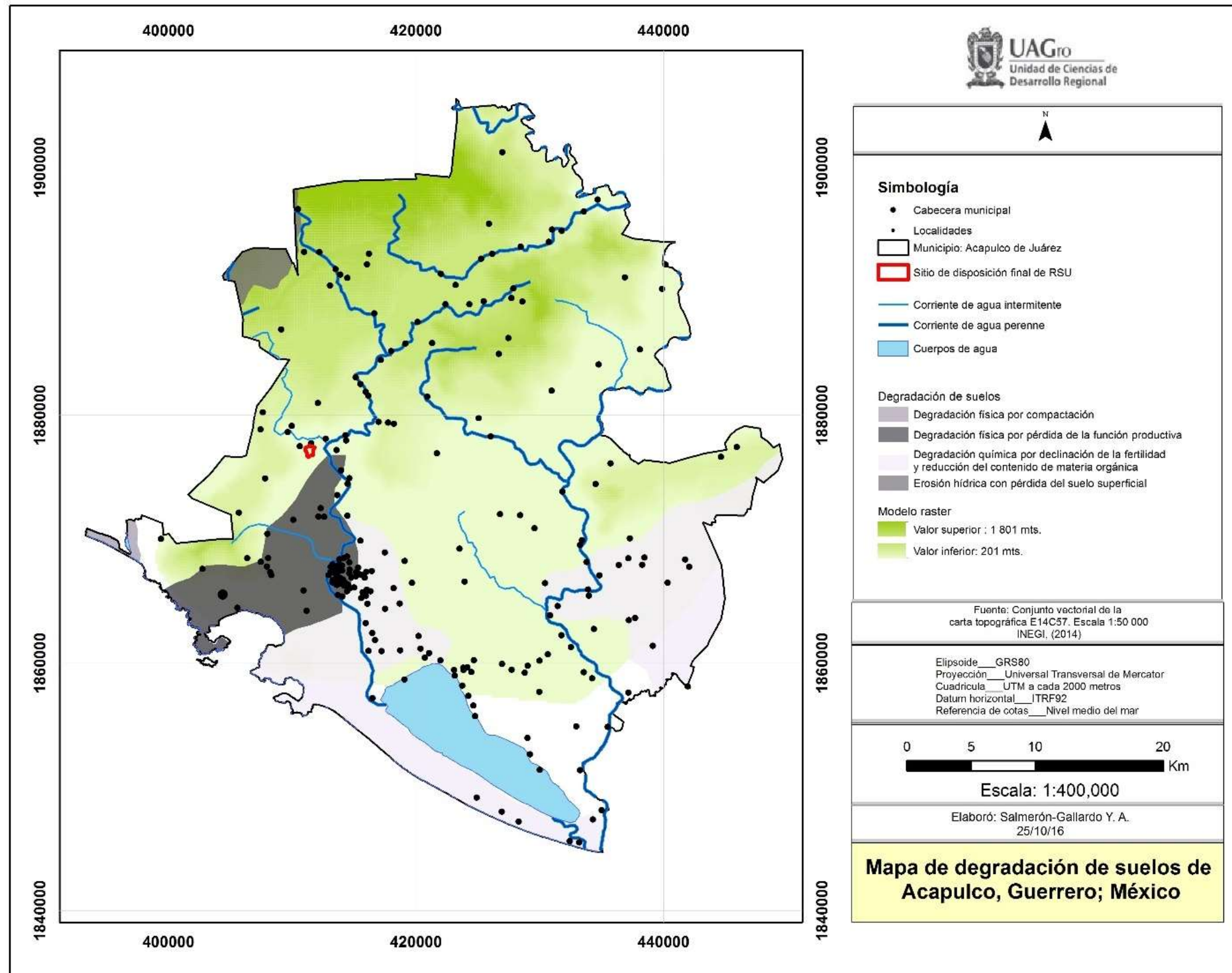


Figura 56. Mapa de degradación de suelos de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

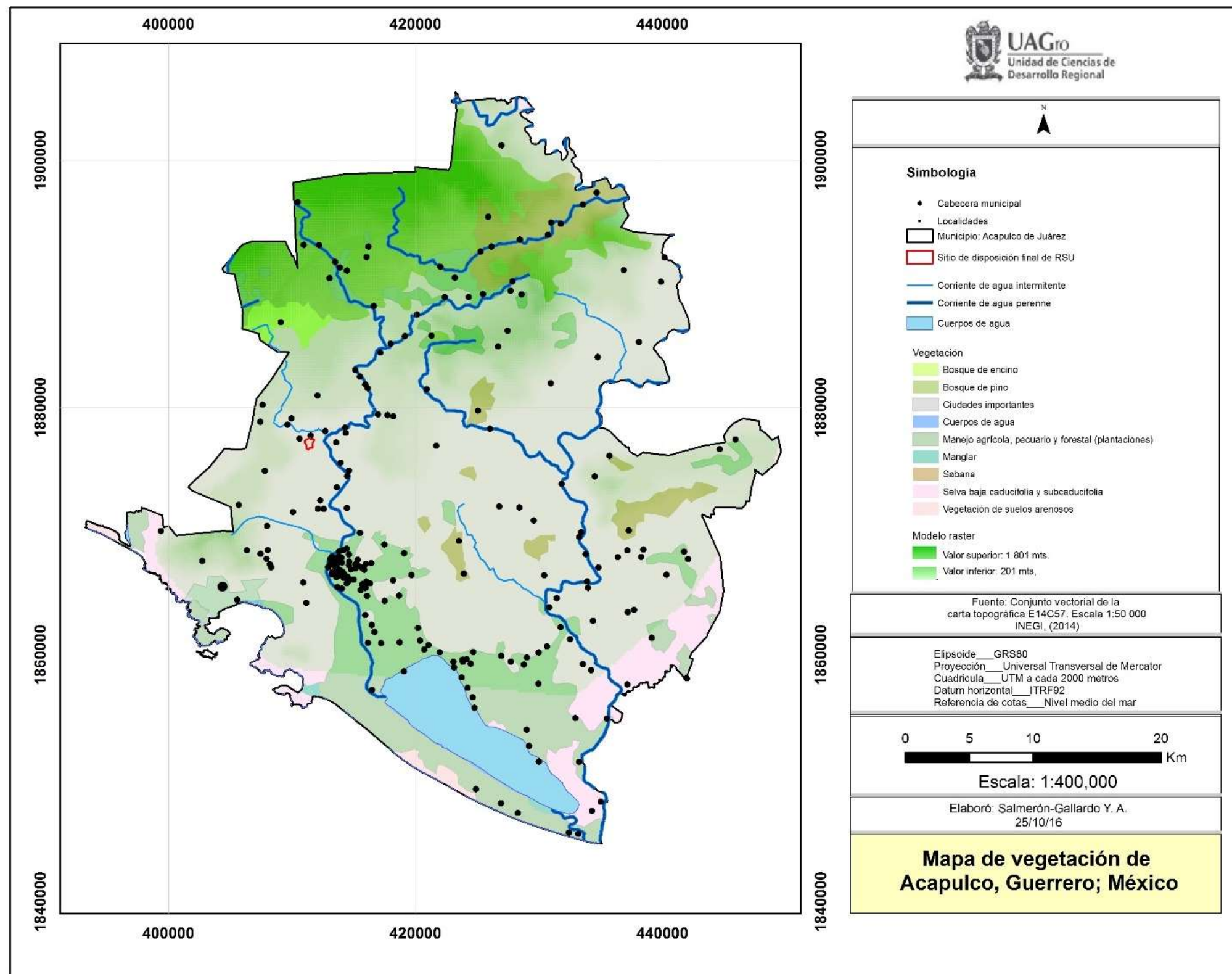


Figura 57. Mapa de vegetación de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

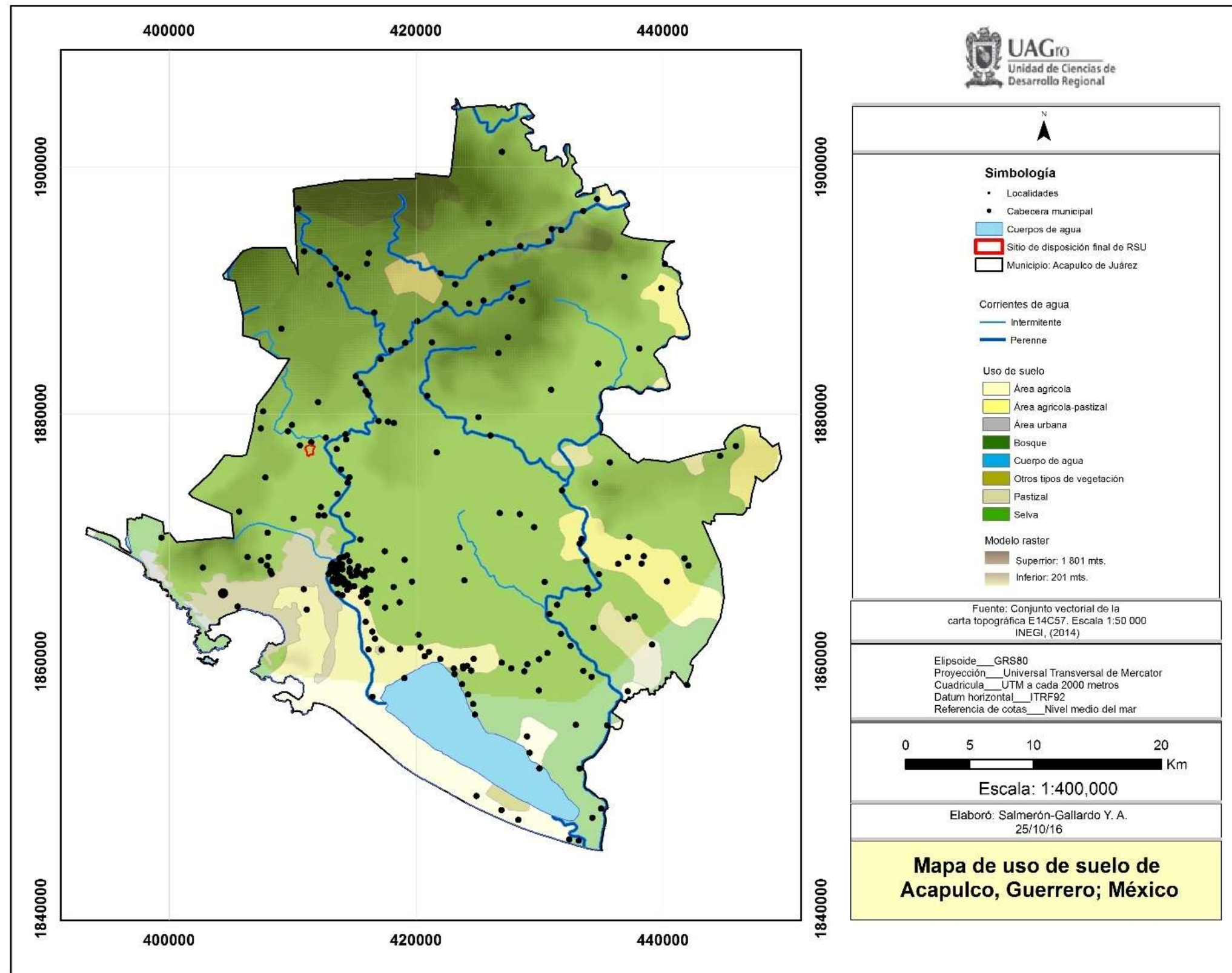


Figura 58. Mapa de uso de suelo de Acapulco, Guerrero. Elaboración propia con archivos vectoriales de INEGI, (2014).

VII. CONCLUSIONES

- Los métodos de EIA analizados resumen las tendencias en la práctica de técnicas aplicadas en SDF. Estos métodos se basan en criterios cuantitativos, que se interpretaran inevitablemente como más sólidos, objetivos y precisos que los métodos cualitativos; aunque la selección, dependerá de la naturaleza del proyecto, el tiempo, la disponibilidad de datos, recursos técnicos, financieros y disposiciones legales.
- La metodología RIAM utilizada tanto en la EIA como en la EEA, resulta un método adecuado para la identificación y valoración de los impactos, mediante matrices de acción/factor y sistemas elaborados aplicables a todas las etapas del ciclo de vida útil del SDF.
- El análisis de los métodos de EIA para SDF, proporcionó una base de información a partir de la experiencia de los mecanismos de evaluación, para la selección y adecuación de los índices considerados en el modelo de EIA_{SDFEP} .
- El análisis de la normatividad mediante la EEA al PEPGIR del estado de Guerrero, brinda información local pertinente para la selección de alternativas en una fase temprana del proceso de planificación.
- Las alternativas propuestas para la evaluación del PEPGIR, integran consideraciones de sustentabilidad que se apoyan en el análisis de la normatividad, para ofrecer una solución viable considerando el factor económico, la participación social, las condiciones ambientales y la salud pública.
- Los indicadores propuestos para la integración matricial RIAM, resultan un aporte para la evaluación de programas de gestión integral de residuos. Se sustentan en la revisión de la literatura para integrar aspectos físico/químicos, biológico/ecológicos, socio/cultural y económico/operacional a la evaluación de los impactos positivos y negativos del manejo de los RSU.

- El resultado de la EEA al PEPGIR mediante la metodología RIAM, presenta la alternativa 01 (separación de residuos y ampliación de recolección), y la alternativa 02 (construcción de estaciones de transferencia y SDF intermunicipales) en rangos de impactos positivos en términos económico/operacionales y socio/culturales.
- Debido a que no existe un instrumento para evaluar SDF en etapa de posclausura, se propone el modelo de EIA_{SDFEP} como un instrumento indirecto, sinóptico, viable y de fácil aplicación mediante la evaluación de indicadores a través de índices de agregación.
- Las variables que forman el modelo de EIA_{SDFEP} , integran información del medio físico (biótico y abiótico) paisajístico y socioeconómico, siendo representativas de los impactos que generan los sitios de disposición final.
- El modelo de EIA_{SDFEP} , establece factores de ponderación en función de la importancia. El medio abiótico (agua y aire) recibe el mayor peso de ponderación, porque contiene elementos sobre los que recae la mayor afectación, y sobre los que se generaran impactos independientemente de quien los evalúe.
- Los índices de impacto que integran el modelo de EIA_{SDFEP} , se desarrollan sobre la base de índices de contaminación que se modifican para la evaluación de variables que adoptan la forma de indicadores, para los que existe disponibilidad de información considerando el marco normativo mexicano.
- La escala de afectación se establece en rangos de 0 a 1000 $UIAA$, donde una puntuación menor indica una condición ambiental aceptable, y un valor superior un impacto crítico. La representación del impacto se visualiza mediante una escala colorimétrica de riesgo y vulnerabilidad a través de la salida de datos espaciales con técnicas asistidas de SIG.

- Es factible la validación del modelo de EIA_{SDFEP} en casos de estudios reales, para medir los impactos en una escala de tiempo que se extiende desde la fase de construcción hasta la fase posterior al cierre.
- El cálculo de las emisiones de GEI en términos de $CO_2\text{-eq}$ y el potencial de generación de CH_4 durante la etapa de posclausura para el SDF de Acapulco, Guerrero, suministra información al modelo de EIA_{SDFEP} y provee una evaluación de factibilidad para proyectos futuros a nivel local y estatal diseñados para hacer frente al cambio climático global.
- El análisis de datos espaciales generó cartografía temática ex profeso para el área de estudio, elaborada con imágenes multiespectrales y archivos vectoriales que brindan información objetiva y actualizada para la descripción y evaluación de los factores ambientales.
- El resultado obtenido con el modelo de EIA_{SDFEP} , calcula un impacto de tipo crítico para los elementos del medio abiótico: agua y aire. El medio biótico considerado por la flora y fauna y el parámetro socioeconómico integrado por el paisaje y medio social, muestran un impacto de tipo severo.
- El impacto ambiental total de la celda 0 del SDF de Acapulco, Guerrero, se totaliza en 828 $UIAA$, representando un impacto de tipo crítico que produce una pérdida permanente de la calidad ambiental sin posible recuperación.
- El modelo de EIA_{SDFEP} resulta confiable ya que provee valores cuantitativos que podrán tomarse como referencia, para propiciar la reorganización del territorio en las zonas afectadas por la presencia de SDF clausurados, incorporando criterios de análisis no contemplados actualmente en los planes y programas de ordenamiento territorial.
- La propuesta del modelo de EIA_{SDFEP} , representa un aporte metodológico pertinente para el área de las ciencias ambientales, resultando económicamente viable, ambientalmente sustentable y socialmente aceptable para brindar respuesta a la problemática actual, y se espera que sirva como un documento administrativo con perspectivas de aplicación que abarcan todo el territorio nacional.

VIII. RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS

- Aplicar el modelo de evaluación de impacto ambiental en sitios de disposición final del país que cumplan con los criterios de posclausura para la selección de medidas de mitigación.
- Incorporar variables e índices de hidrología subterránea, geomorfología, edafología y calidad de vida; y plantear ecuaciones de agregación para la evaluación de los índices e indicadores a incluir en el modelo de EIA_{SDFEP} .
- Realizar un análisis estadístico de componentes principales en el lenguaje de programación “R” para la selección de variables originales.
- Proponer factores de ponderación basados en criterios de expertos utilizando el modelo analítico jerárquico AHP.
- Aplicar el modelo de EIA_{SDFEP} a través de un software especializado que permita la validación y la representación del impacto ambiental ponderado en un modelo de elevación digital 3D.
- Instituir el modelo de EIA_{SDFEP} como un instrumento administrativo, de ordenamiento y planeación ambiental para someter a evaluación y monitoreo los vertederos en etapa de posclausura.
- Incorporar los resultados del modelo de EIA_{SDFEP} en los programas de ordenamiento ecológico, mediante la representación del impacto ambiental en mapas temáticos que expresen el riesgo y la vulnerabilidad de las zonas del territorio que requieren ser atendidas.

IX. REFERENCIAS

- Aguilar-Virgen, Q., Ojeda-Benítez, S., Taboada-González, P., & Quintero-Núñez, M. (2012). Estimación de las constantes k y Lo de la tasa de generación de biogás en sitios de disposición final en baja california, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 43–49.
- Ahmad, B., & Wood, C. (2002). A comparative evaluation of the EIA systems in Egypt, Turkey and Tunisia. *Environmental Impact Assessment Review*, 22(3), 213–234. [http://doi.org/10.1016/S0195-9255\(02\)00004-5](http://doi.org/10.1016/S0195-9255(02)00004-5)
- Al-Khatib, I. A., Monou, M., Abu-Zahra, S. F., Shaheen, H. Q., & Kassinos, D. (2010). Solid waste characterization, quantification and management practices in developing countries. A case study: Nablus district-Palestine. *Journal of Environmental Management*, 91(5), 1131–1138. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.01.003>
- Allen, D. W., & Coffey, J. M. (2011). *GIS Tutorial, advanced workbook* (1ra. ed.). Redlands, California: ESRI Press.
- Amini, H. R., Reinhart, D. R., & Mackie, K. R. (2012). Determination of first-order landfill gas modeling parameters and uncertainties. *Waste management*, 32(2), 305–16. doi:10.1016/j.wasman.2011.09.021
- Arellano-Wences, H. J., Sampedro-Rosas, M. L., Cabrera-Cruz, R. B. E., Juárez-López, A. L., Rosas-Acevedo, J. L., & Cortes-Badillo, E. (2015). Generación de emisiones de gases efecto invernadero en unidades académicas de la Universidad Autónoma de Guerrero. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(7), 61–67.
- Barradas, R. A. (1999). *Investigación sobre metodología adecuada a la planificación de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y rurales (aplicada a la zona Minatitlán-Cosoleacaque, en el sur de México)*. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Bareither, C. A., Wolfe, G. L., McMahon, K. D., & Benson, C. H. (2013). Microbial diversity and dynamics during methane production from municipal solid waste. *Waste management*, 33(10), 1982–92. doi:10.1016/j.wasman.2012.12.013
- Barton, J. R., Dalley, D., & Patel, V. S. (1996). Life cycle assessment for waste management. *Waste Management*, 16(1-3), 35–50. [http://doi.org/10.1016/S0956-053X\(96\)00057-8](http://doi.org/10.1016/S0956-053X(96)00057-8)
- Berrón, G. (2002). Aspectos básicos de política para una gestión adecuada de residuos sólidos urbanos (RSU). *Ingeniería*, 2(6), 51–57.
- Bolan, N. S., Thangarajan, R., Seshadri, B., Jena, U., Das, K. C., Wang, H., & Naidu, R. (2013). Landfills as a

- biorefinery to produce biomass and capture biogas. *Bioresource technology*, 135, 578–87. doi:10.1016/j.biortech.2012.08.135
- Butt, T. E., Gouda, H. M., Baloch, M. I., Paul, P., Javadi, A. A., & Alam, A. (2014). Literature review of baseline study for risk analysis - The landfill leachate case. *Environment International*. Elsevier B.V. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2013.09.015>
- Cabrera, C. R. B. E. (2004). *Propuesta de una guía metodológica para la realización de estudios de evaluación de impacto ambiental en México*. Tesis de Maestría. Instituto de ciencias básicas e ingeniería, centro de investigaciones químicas. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. Hidalgo, México.
- Canter, L. W. (1996). *Environmental impact assessment*. New York, USA: Mc.Graw-Hill, Inc.
- Canter, L. W. (2002). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de Estudios de Impacto*. Traducción al español de Ignacio Español. Madrid: McGraw Hill.
- Caresana, F., Comodi, G., Pelagalli, L., Pierpaoli, P., & Vagni, S. (2011). Energy production from landfill biogas: An Italian case. *Biomass and Bioenergy*, 35(10), 4331–4339. doi:10.1016/j.biombioe.2011.08.002
- Chacare, A., Cabeza, M., Arconada, M., & Misle, P. (2006). Análisis comparativo del procedimiento de evaluación de impacto ambiental venezolano (decreto 1.257) en el contexto norteamericano, latinoamericano y europeo. *Tierra Nueva Etapa*, 22(32), 14–75. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72103203>
- Cifrian, E., Galan, B., Andres, A., & Viguri, J. R. (2012). Material flow indicators and carbon footprint for MSW management systems: Analysis and application at regional level, Cantabria, Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 68, 54–66. doi:10.1016/j.resconrec.2012.08.007
- Clavreul, J., Guyonnet, D., & Christensen, T. H. (2012). Quantifying uncertainty in LCA-modelling of waste management systems. *Waste Management*, 32(12), 2482–2495. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.008>
- Costi, P., Minciardi, R., Robba, M., Rovatti, M., & Sacile, R. (2004). An environmentally sustainable decision model for urban solid waste management. *Waste Management*, 24(3), 277–295. [http://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00126-0](http://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00126-0)
- Cristina, M. (2013). A glance at the world. *Waste Management*, 33(10), 2137–2140. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.027>
- Dangi, M. B., Fernandez, D., Bom, U. B., Belbase, S., & Kaphle, R. (2015). Evaluation of environmental impact assessment report preparation and public participation in landfill projects in Nepal. *Habitat International*, 46,

72–81. <http://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.10.021>

DGOT. (2014). *Ortorectificación de imágenes satelitales Landsat*. Dirección General de Ordenamiento Territorial del Ministerio del Ambiente. San Isidro, Lima-Perú.

Dong, J., Chi, Y., Zou, D., Fu, C., Huang, Q., & Ni, M. (2014). Energy-environment-economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective : Model development and case study. *Applied Energy*, 114, 400–408. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.037>

Eriksson, M., Strid, I., & Hansson, P. A. (2015). Carbon footprint of food waste management options in the waste hierarchy – a Swedish case study. *Journal of Cleaner Production*, 93, 115–125. doi:10.1016/j.jclepro.2015.01.026

Español, E. I. (1995). *Impacto ambiental*. Madrid, España: Servicio de publicaciones del colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

Fitzgerald, G. C., Krones, S. J., & Themelis, J. N. (2012). Greenhouse gas impact of dual stream and single stream collection and separation of recyclables. *Resources, Conservation and Recycling*, 69, 50–56. doi:10.1016/j.resconrec.2012.08.006

Gómez Barbero, M., & Berbel Vecino, J. (2003). Análisis y propuesta de estrategia de desarrollo para la gestión ambiental de los residuos en los municipios de Andalucía. *Revista de Estudios Regionales*, 68, 61–88.

Hermann, B. G., Debeer, L., De-Wilde, B., Blok, K., & Patel, M. K. (2011). To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials' waste treatment. *Polymer Degradation and Stability*, 96(6), 1159–1171. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.026

Hughett, M. P. (2012). *Mastering ArcGIS* (5ta. ed.). New York, USA: McGraw-Hill.

IEE. (2012). *Generación de electricidad mediante residuos sólidos urbanos* (p.79). México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

IFEU. (2009). Manual de la herramienta de cálculo de gases de efecto invernadero en el manejo de residuos sólidos:Calculadora MRS-GEI. (p. 66). Frankfurt am Main, Alemania: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.

INECC. (2010). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero* (p. 53). México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Retrieved from <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf>

- INEGI. (2005a). *Guía para la interpretación de cartografía: Climatológica*. Aguascalientes, Ags., México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2005b). *Guía para la interpretación de cartografía: Fotografía aérea*. Aguascalientes, Ags., México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2005c). *Guía para la interpretación de cartografía: Geológica*. Aguascalientes, Ags., México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2006a). Cartografía básica. Retrieved June 27, 2015, from http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/MANUAL_CartograFIA.pdf
- INEGI. (2006b). Manual de normas para la actualización de la cartografía de localidades. Retrieved June 27, 2015, from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/urbana/doc/normativ.pdf>
- INEGI. (2008). *Guía para la interpretación de cartografía: Batimétrica*. Aguascalientes, Ags., México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2010). Indicadores Principales del Banco de Información. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Retrieved August 07, 2016, from <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=12>
- INEGI. (2012). *Guía para la interpretación de cartografía: Uso del suelo y vegetación, escala 1:250, 000, serie IV*. Aguascalientes, Ags., México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2015). *Guía para la interpretación de la cartografía: Edafología, escala 1:250 000, serie III*. Aguascalientes, Ags., México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INE-SEMARNAT (2006). Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos. Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diagnóstico. México, D. F. 112 pp.
- Ingwersen, W. W., Curran, M. A., Gonzalez, M. a., & Hawkins, T. R. (2012). Using screening level environmental life cycle assessment to aid decision making: A case study of a college annual report. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 13(1), 6–18. <http://doi.org/10.1108/14676371211190272>
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero; Volumen 5: Desechos*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Retrieved September 20, 2016, from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol5.html>
- ISWA. (2012). Waste and climate change. *Resources, Conservation and Recycling*, 68.

- Jiménez-Cisneros, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA, México, D. F. 926 pp.
- Karak, T., Bhattacharyya, P., Das, T., Paul, R. K., & Bezbaruah, R. (2013). Non-segregated municipal solid waste in an open dumping ground: a potential contaminant in relation to environmental health. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 10, 503–518. doi:10.1007/s13762-013-0184-5
- Kaplan, P. O., Ranjithan, S. R., & Barlaz, M. A. (2009). Use of life-cycle analysis to support solid waste management planning for delaware. *Environmental Science & Technology*, 43(5), 1264–1270.
- Kaufman, S. M., Krishnan, N., & Themelis, N. J. (2010). A screening life cycle metric to benchmark the environmental sustainability of waste management systems. *Environmental Science & Technology*, 44(15), 5949–5955. <http://doi.org/10.1021/es100505u>
- Khoo, H. H., Tan, L. L. Z., & Tan, R. B. H. (2012). Projecting the environmental profile of Singapore's landfill activities: Comparisons of present and future scenarios based on LCA. *Waste Management*, 32(5), 890–900. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.12.010>
- Kumar, D. & Alappat, B.J. (2004). Selection of an appropriate aggregation function for calculating leachate pollution index. *ASCE Practice Periodicals of Hazardous, Radioactive and Toxic Waste Management*, 8, 253–264.
- Kumar, D., & Alappat, B. J. (2005). Evaluating leachate contamination potential of landfill sites using leachate pollution index. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 7(3), 190–197. <http://doi.org/10.1007/s10098-004-0269-4>
- Laner, D., Crest, M., Scharff, H., Morris, J. W. F., & Barlaz, M. A. (2011). Review of approaches for the long-term management of municipal solid waste landfills. *Waste Management*. 32, 498–512.
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., Christensen, T. H. (2014). Review of LCA studies of solid waste management systems-Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*, 34(3), 573–588. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.045>
- Li, W., Xie, Y., & Hao, F. (2014). Applying an improved rapid impact assessment matrix method to strategic environmental assessment of urban planning in China. *Environmental Impact Assessment Review*, 46, 13–24. <http://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.01.001>
- Machado, S. L., Carvalho, M. F., Jean-Pierre, G., Vilar, O. M., & Do Nascimento, J. C. F. (2009). Methane generation in tropical landfills: simplified methods and field results. *Waste management*, 29(1), 153–161.

doi:10.1016/j.wasman.2008.02.017

- Mambeli-Barros, R., Tiago-Filho, G. L., & Rodrigo-Da Silva, T. (2014). The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. *Energy Policy*, 65, 150–164. doi:10.1016/j.enpol.2013.10.028
- Manfredi, S., & Goralczyk, M. (2013). Life cycle indicators for monitoring the environmental performance of European waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 81, 8–16. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.09.004>
- Marcoux, M. A., Matias, M., Olivier, F., & Keck, G. (2013). Review and prospect of emerging contaminants in waste – Key issues and challenges linked to their presence in waste treatment schemes: General aspects and focus on nanoparticles. *Waste Management*, 33(11), 2147–2156. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.06.022>
- McDougall, F., White, P., Franke, M., & Hindle, P. (2001) *Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory*. Second Edition. Blackwell Publishing. UK.
- Mebarki, B., Adouane, B., Khaldi, F., Dehimi, S., & Haddad, D. (2015). Theoretical estimation of the production of biogas from the landfill of Batna city and its electrical conversion by a SOFC. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(39), 13799–13805. doi:10.1016/j.ijhydene.2015.03.062
- Meesa, S., & Alappat, B. J., (2006). Formulation of technique to quantify aesthetics of landfill environment. In: Department of Civil Engineering, Institute of Technology, Banars Hindu University and Institute of Public Health Engineers, India (eds.): *Proceedings of 22nd National Convention on Environmental Engineering, India*, 7–9 April. 2006, Varanasi, India, pp. 188–194.
- Milke, M. (2011). Disaster waste management research needs. *Waste Management*, 31(1), 1. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.09.022>
- Milke, M. (2013). A pioneer in waste management. *Waste Management*, 33(10), 1967–8. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.06.008>
- Mohan, B. D., Fernandez, D., Upendra, B. B., Shashidhar B., & Rameshwar K. (2015). Evaluation of environmental impact assessment report preparation and public participation in landfill projects in Nepal. *Habitat International*. 46, 72-81.
- Mondal, M. K., Rashmi, & Dasgupta, B. V. (2010). EIA of municipal solid waste disposal site in Varanasi using RIAM analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(9), 541–546. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.10.011>
- Morris, J. (2010). Bury or burn North America MSW? LCAs provide answers for climate impacts & carbon neutral

- power potential. *Environmental Science and Technology*, 44(20), 7944–7949.
<http://doi.org/10.1021/es100529f>
- Naddeo, V., Belgiorno, V., Zarra, T., & Scannapieco, D. (2013). Dynamic and embedded evaluation procedure for strategic environmental assessment. *Land Use Policy*, 31(152), 605–612.
<http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.09.007>
- Ng, K. L., & Obbard, J. P. (2005). Strategic environmental assessment in Hong Kong. *Environment International*, 31(4), 483–492. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2004.09.023>
- Omar, D., Karuppanan, S., & Ayunishafiea, F. (2012). Environmental Health Impact Assessment of a Sanitary Landfill in an Urban Setting. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 68, 146–155.
<http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.214>
- OPS-OMS, (1998). Análisis sectorial de residuos sólidos en la zona metropolitana del Valle de México. Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud. Serie Análisis Sectoriales, No. 14. Plan regional de inversiones en ambiente y salud. México, D. F. 275 pp.
- Ormsby, Napoleon, Burke, Groessl, & Bowden. (2004). *Getting to know. ArcGIS desktop* (2da. ed.). Redlands, California: ESRI Press.
- Pastakia, C. M. R., & Jensen, A. (1998). The rapid impact assessment matrix (RIAM) for EIA. *Environmental Impact Assessment Review*, 18(5), 461–482. [http://doi.org/10.1016/S0195-9255\(98\)00018-3](http://doi.org/10.1016/S0195-9255(98)00018-3)
- Pérez, G. (2011). Ciudades mexicanas y su manejo de residuos. *Hacia La Sustentabilidad*, 133–138. Retrieved from [http://www.redisa.uji.es/artSim2011/GestionYPoliticaAmbiental/Ciudades mexicanas y su manejo de residuos.pdf](http://www.redisa.uji.es/artSim2011/GestionYPoliticaAmbiental/Ciudades%20mexicanas%20y%20su%20manejo%20de%20residuos.pdf)
- Phillips, P. S., Tudor, T., Bird, H., & Bates, M. (2011). A critical review of a key Waste Strategy Initiative in England: Zero Waste Places Projects 2008–2009. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 335–343.
<http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.10.006>
- Pires, A., Martinho, G., & Chang, N. B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1033–1050.
<http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.024>
- RS/GIS. (2008). Quick start guides, Landsat spectral band information. Retrieved June 28, 2015, from <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/us/>
- Saldaña-Munive, J. A., Lozada-Carrera, A., Valera-Pérez, M. Á., & Otazo-Sánchez, E. M. (2015). Emisiones de N₂O

estimadas mediante la Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(4), 79–94.

Sánchez-Santillán, N., Lanza-Espino, G., Garduño, R., & Sánchez-Trejo, R. (2015). La influencia antropogénica en el Cambio Climático bajo la óptica de los Sistemas Complejos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(6), 69–84.

Sharma, A., Meesa, S., Pant, S., Alappat, B. J., & Kumar, D. (2008). Formulation of a landfill pollution potential index to compare pollution potential of uncontrolled landfills. *Waste Management & Research*, 26, 474-483. <http://doi: 10.1177/0734242X07086515>

SEMAREN. (2009). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Guerrero. Retrieved May 5, 2016, from http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/gestionresiduos/pepgir_guerrero.pdf

SEMARNAT. (2004a). *Guía de cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Agencia Alemana de Cooperación Técnica. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

SEMARNAT. (2004b). Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación*. Retrieved from http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004

SEMARNAT. (2012). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Retrieved May 08, 2016, from <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcnica/diagnosticobasico2012.pdf>

SEMARNAT. (2013). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/27266/Ley_General_de_Residuos.pdf

SEMARNAT-GTZ. (2005). *Guía para la realización de planes de regularización conforme a la NOM 083-SEMARNAT-2003*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Agencia Alemana de Cooperación Técnica. Retrieved from http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_regularizacin_NOM_083.pdf

Song, Q., Wang, Z., & Li, J. (2013). Environmental performance of municipal solid waste strategies based on LCA

- method: A case study of Macau. *Journal of Cleaner Production*, 57, 92–100. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.042>
- Suthar, S., & Sajwan, A. (2014). Rapid impact assessment matrix (RIAM) analysis as decision tool to select new site for municipal solid waste disposal: A case study of Dehradun city, India. *Sustainable Cities and Society*, 13, 12–19. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2014.03.007>
- Takatsuki, H. (2013). Waste problems and our lifestyle. *Waste Management*, 33(11), 2145–2146. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.08.016>
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management* (2° ed.,). New York, U. S. A.: McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos I*. España: McGraw-Hill.
- Themelis-Nickolas, J., & Ulloa-Priscilla, A. (2007). Methane generation in landfills. *Renewable Energy*, 32(7), 1243–1257. doi:10.1016/j.renene.2006.04.020
- USEPA. (2009). Modelo Mexicano de Biogás, Versión 2.0. (SCS Engineers, Ed.) (p. 35). Phoenix, Arizona: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Retrieved from http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/manual_del_usuario_modelo_mexicano_de_biogas_v2_2009.pdf
- USGS. (2015). *Recursos de observación de la tierra y ciencia* (EROS-EarthExplorer). Retrieved June 26, 2015, from <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Valdez, M. E., Orozco, M. E., Romero-Salazar, L., & Aguilar, C. (2015). Modelo de emisión-captura de gases de efecto invernadero en el Estado de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(3), 31–42.
- Vargas, O., Alvarado, E., López, C., & Cisneros, V. (2015). Plan de manejo de residuos sólidos generados en la Universidad Tecnológica de Salamanca. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(5), 83–91.
- Victor, D., & Agamuthu, P. (2014). Policy trends of strategic environmental assessment in Asia. *Environmental Science and Policy*, 41, 63–76. <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.03.005>
- Vigueras, I. R. (2006). *Diseño de un índice ambiental para la evaluación de sitios de disposición final de acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003*. Instituto Politécnico Nacional. Retrieved from http://148.204.71.28:8080/dspace/bitstream/123456789/105/1/TESIS_IVON_CIIEMAD-IPN.pdf
- Wang, J., Fang-Fang, X., Bai, Y., Cheng-Ran, F., Dong-Sheng, S., & Ruo, H. (2011). Methane oxidation in landfill waste biocover soil: kinetics and sensitivity to ambient conditions. *Waste management*, 31(5), 864–70.

doi:10.1016/j.wasman.2011.01.026

- Wanichpongpan, W., & Gheewala, S. H. (2007). Life cycle assessment as a decision support tool for landfill gas-to energy projects. *Journal of Cleaner Production*, 15(18), 1819–1826. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.06.008>
- Winkler, J., & Bilitewski, B. (2007). Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. *Waste Management*, 27(8), 1021–1031. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.023>
- Woon, K. S., & Lo, I. M. C. (2013). Greenhouse gas accounting of the proposed landfill extension and advanced incineration facility for municipal solid waste management in Hong Kong. *The Science of the total environment*, 458-460, 499–507. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.04.061
- Yang, N., Damgaard, A., Lü, F., Shao, L. M., Brogaard, L. K. S., & He, P. J. (2014). Environmental impact assessment on the construction and operation of municipal solid waste sanitary landfills in developing countries: China case study. *Waste Management*, 34(5), 929–937. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.017>
- Zamorano, M., Pérez-Pérez, J. I., Aguilar-Pavés, I., & Ramos-Ridao, Á. (2007). Study of the energy potential of the biogas Rodriguezproduced by an urban waste landfill in Southern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5), 909–922. doi:10.1016/j.rser.2005.05.007
- Zhang, D. Q., Tan, S. K., & Gersberg, R. M. (2010). Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges. *Journal of Environmental Management*, 91(8), 1623–1633. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.03.012>
- Zhang, J., Kornov, L., & Christensen, P. (2013). Critical factors for EIA implementation: Literature review and research options. *Journal of Environmental Management*, 114, 148–157. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.030>
- Zhang, Y., Baral, A., & Bakshi, B. R. (2010). Accounting for ecosystem services in life cycle assessment. Part II: Toward an ecologically based LCA. *Environmental Science and Technology*, 44(7), 2624–2631. <http://doi.org/10.1021/es900548a>
- Zhang, Y., Singh, S., & Bakshi, B. R. (2010). Accounting for ecosystem services in life cycle assessment. Part I: A critical review. *Environmental Science & Technology*, 44(7), 2232–2242. <http://doi.org/10.1021/es9021156>

X. ANEXOS

Anexo I. Imágenes del sitio de disposición final de Acapulco, Guerrero, México.



Desmote y despalme de 3.5 hectáreas de cubierta vegetal para la construcción de la celda 2. SDF de Acapulco, Guerrero, México. Foto: H. Ayuntamiento de Acapulco, (2004).



Nivelación de terracerías para la construcción de la celda 2, utilizando motoconformadora y vibrocompactador. SDF de Acapulco, Guerrero, México. Foto: H. Ayuntamiento de Acapulco, (2004).



Descarga de residuos sólidos urbanos en la celda 05. SDF de Acapulco, Guerrero, México.
Foto: Juárez-López, (2014).



Laguna de evaporación de lixiviados sin impermeabilización. SDF de Acapulco, Guerrero, México.
Foto: Juárez-López, (2014).

1. Datos Generales.

Estado: Guerrero

Municipio: Acapulco de Juárez

Dirección: Domicilio conocido: Paso Texca, Acapulco, Gro.

Col. _____

C.P. _____ Teléfono: _____ Fax: _____

Correo Electrónico: _____

Datos de la persona que apoyó en llenar el formulario por parte del municipio:

Nombre: CP. Amando Hernández Jiménez

Cargo / puesto: Supervisor

Dirección: _____

Col. _____

C.P. _____ Teléfono: 744 9099390 Fax: _____

Correo Electrónico: _____

2. Información general del actual sitio de disposición final

Nombre del lugar: Relleno Sanitario Acapulco de Juárez

Coordenadas geográficas: 16°58'34.51" Latitud Norte, 99°49'57.64" Longitud Oeste

El sitio de disposición final es:

Municipal

Privado (rentado prestado comodato)

Concesionado: _____

¿Cuál es la cantidad diaria que el municipio deposita en el sitio de disposición final?
850 ton / día

¿Cuál es el área total del sitio? 105 hectáreas

¿Cuál es el área para la disposición final? 15 hectáreas

¿En que año se empezó la disposición final? ene.-00

¿Cuál es el volumen estimado disponible? 700 m³

¿Cuál es la vida útil estimada? 20 años

¿Hay pepenadores en el sitio de disposición final (cuantos)? 350

3. Proyecto ejecutivo y Evaluación / manifestación del impacto ambiental

¿El sitio de disposición final cuenta con un proyecto ejecutivo? (6, 7, 8 y 9)

Si; No

El sitio de disposición final ¿cuenta con una evaluación o manifestación del impacto ambiental? (10.5.5)

Si; No

4. Ubicación

4.1 ¿Qué tipo de residuos ingresa al sitio de disposición final? (5.1)

- Residuos sólidos urbanos (RSU)
 Residuos de manejo especial (RME)
 Residuos peligrosos
 Residuos biológico- infecciosos
 Otros, indicar _____

4.2 ¿A qué tipo corresponde el sitio? (5.2)

- Tipo A (> 100 ton/día)
 Tipo B (50 hasta 100 ton/ día)
 Tipo C (10 hasta 50 ton/día)
 Tipo D (Menor a 10 ton/día)

4.3 ¿El sitio está ubicado a una distancia menor de 13 kilómetros del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio público o aeropuerto? (6.1.1)

- Si No

4.4 El sitio está ubicado en un área natural protegida? (6.1.2)

- Si No

4.5 ¿Cuál es la distancia del sitio de disposición final a localidades (existentes y contempladas en el plan de desarrollo) mayores de 2,500 habitantes? (6.1.3)

Distancia 1 m

4.6 ¿El sitio de disposición final se ubicó en zona(s) de: marismas, manglares, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas, cavernas, fracturas o fallas geológicas? (6.1.4)

- Si No

En caso afirmativo, ¿de qué? Corrientes perennes e intermitentes RH19Ab.

4.7 ¿El sitio de disposición final se ubica dentro o fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años? (6.1.5)

- dentro fuera

4.8 ¿El sitio de disposición final se ubica en una distancia inferior de 500 m respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas? (6.1.6)

- Si No

4.9 ¿El sitio de disposición final se ubica fuera de las restricciones marcadas por la norma respecto a pozos de extracción de agua en operación y abandonados? (6.1.7)

- Si; No

5. Estudios y análisis previos realizados para la selección del sitio

5.1 Describir el marco geológico regional (solo tipo A) (6.2.1)

Dentro del municipio se encuentran rocas intrusivas y extrusivas del periodo cuaternario, terciario, jurásico-cretácico y jurásico, con unidades litológicas de nombre aluvial, lacustre, litoral, granito-granodiorita, toba ácida y gneis.

5.2 Describir la situación hidrogeológico regional (solo tipo A) (6.2.2)

La hidrología del municipio de Acapulco se integra por la Región Hidrológica número 19. Costa Grande, cuenca: A. Río Atoyac y otros, subcuenca: a. Laguna de Tres Palos, b. Río La Sabana y c. Bahía de Acapulco, y por la Región Hidrológica número 20. Costa Chica-Río Verde, cuenca: D. Río Nexpa y otros, E. Río Papagayo, Subcuenca: f. Río Cortés y Estancia, a. Río Papagayo y e. Río San Miguel.

5.3 Listar los estudios realizados y describir sus resultados respecto al cumplimiento con la NOM-083 (6.3 a 6.5)

Sólo se cumple con el estudio topográfico.

6. Características constructivas

¿El sitio de disposición final tiene alguna barrera de impermeabilización?

Tipo A hasta C, conforme el punto 7.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003

Si No

Tipo D conforme el punto 8.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003

Si; No

6.2 ¿Se dispone de un sistema de captación de biogás y se realiza su extracción (Tipo A hasta C)? (7.2)

Si No

Breve descripción del mismo: _____

¿Se realiza la quema del biogás permanente o hay un aprovechamiento energético (transformación en energía) (Tipo A hasta C)?

Si No

Breve descripción del mismo: _____

6.3 ¿Se dispone de un sistema de captación de lixiviados y se realiza su extracción (Tipo A hasta C)? (7.3)

Si No

¿Cuenta con sistema de tratamiento de lixiviados (tipo A hasta C)?

Si No

en caso afirmativo:

rebombeo evaporación Otro, ¿Cuál? _____

6.4 ¿Existe un sistema de drenaje pluvial para el desvío de escurrimientos pluviales y el desalojo del agua de lluvia (tipo A hasta C)? (7.4)

Si No

6.5 ¿Existe una área de emergencia (tipo A hasta C)? (7.5)

Si No

7. Características operativas

7.1 ¿La compactación de los residuos sólidos depositados alcanza la densidad establecida?

Para tipo A (> 600 kg/m³), B (> 500kg/m³), C (> 500 kg/m³) (7.6)

Si No

Para tipo D (> 300kg/m³) (8.2)

Si No

7.2 ¿Los residuos son cubiertos en la forma especificada en la NOM-083-SEMARNAT-2003?

Tipo A hasta C, en forma continua y dentro de un lapso menor a 24 horas posteriores a su depósito (7.7)

Si; No

Tipo D, por lo menos una vez a la semana (8.3)

Si; No

7.3 ¿Existen las medidas de control para materiales ligeros, fauna nociva e infiltración pluvial (tipo A hasta C)? (7.7)

Si ¿cuales? _____

No

7.4 Para tipo D, ¿existen las medidas de control para evitar el ingreso de residuos peligroso? (8.4)

Si ¿cuales? _____

No

8. Infraestructura

¿El sitio de disposición final cuenta con las infraestructuras necesarias conforme su tipo? (7.9; 8.4; 8.5; 8.6)

Infraestructura	Tipo				Sí	No
	A	B	C	D		
Caminos de acceso	X	X	X		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Caminos interiores	X	X			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cerca perimetral	X	X	X	X	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Caseta de vigilancia y control de acceso	X	X	X	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Báscula	X	X			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agua potable, electricidad y drenaje	X	X			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vestidores y servicios sanitarios	X	X	X		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Franja de amortiguamiento (Mínimo 10 metros)	X	X	X		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Oficinas	X				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Servicio Médico y Seguridad Personal	X				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Observaciones:

Existen caminos de acceso al sitio de disposición final pero no existen señalamientos. Las oficinas cuentan con energía eléctrica, el agua de la que se dispone en las instalaciones no es potable, se extrae del subsuelo a través de una bomba.

El área no cuenta con cerca perimetral, los animales del exterior como perros, vacas, cerdos y pollos ingresan a las instalaciones, en ocasiones se les observa sobre los residuos o los lixiviados.

Los caminos interiores están delimitados por las escorrentías generadas por el agua durante la temporada de lluvias.

9. Control y Monitoreo (para tipo A hasta C)

9.1 ¿En el sitio de disposición final se cuenta con un manual de operación conforme a la NOM-083? (7.10-a)

Si; Parcial No

Observaciones: _____

9.2 ¿En el sitio de disposición final se cuenta con un control de registro conforme a la NOM-083? (7.10-b)

Si; Parcial No

Observaciones: _____

9.3 ¿En el sitio de disposición final hay un informe mensual de actividades requeridas por la NOM-083? (7.10-c)

Si; Parcial No

Observaciones: _____

9.4 ¿Existe un programa de control de impactos ambientales? (7.11)

Si; Parcial No

Observaciones: _____

10. Clausura final (todas los tipos)

¿Las partes clausuradas en el sitio de disposición final cuentan con los requisitos indicados en el punto 9 de la NOM-083-SEMARNAT-2003?

	Si	Parcial	No
(9.1) Cobertura final	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(9.2) Conformación final	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(9.3) Mantenimiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(9.4) Programa de monitoreo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(9.5) Uso final del sitio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Observaciones:

Las celdas clausuradas no cuentan con el control del biogás generado.

La erosión se observa en los bordes exteriores de las celdas clausuradas.

Se observa escurrimiento de lixiviados a través de las grietas.

El contorno de las celdas clausuradas presenta escorrentia de lixiviados.

En la celda 0, antes clausurada; se depositan residuos.

11. Observaciones adicionales

El sitio de disposición final comenzó a operar como un tiradero a cielo abierto.

No existen estudios geológicos, hidrogeológicos ni geotécnicos.

No cuenta con monitoreo de biogás para conocer la estabilización de los residuos.

Se desconocen las características de los contaminantes que se encuentran en los lixiviados generados en el sitio de disposición final.

El sitio de disposición final no cuenta con el monitoreo de acuíferos.

No existe información de la calidad del agua antes y después del SDF.

Se realiza la disposición de escombros provenientes de construcciones.

Se realiza la disposición de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPAMA).

Se observa fauna nociva en todo el sitio de disposición final.

—

Datos del levantamiento:

Nombre: Yuridia A. Salmerón Gallardo

Cargo / puesto: Estudiante

Fecha: 16 de septiembre de 2014.

Anexo III. Índice ambiental para evaluar sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos.

Fecha	28/11/2015					
Nombre	Relleno Sanitario Acapulco, Guerrero	43	200	A		
Propietario	Gobierno Municipal	43	174	B		
Dirección	Domicilio Conocido Paso Texca	43	148	C		
Capacidad (t/día)	850,000	19	56	D		
Tipo	A	0	25	9		
Cumplimiento	43/200					
Sección (x)	Descripción	Cumplimiento	Indicador	W _s		
6	Selección del Sitio	No	19	100	ABC	0.500
6.1	Restricciones	No	19	28	ABCD	0.280
6.1.1	Aeropuertos	Si	4	4	ABCD	0.143
6.1.2	Áreas Naturales protegidas	Si	4	4	ABCD	0.143
6.1.3	Zonas Urbanas	Si	4	4	ABCD	0.143
6.1.4	Zonas con restricción	Si	4	4	ABCD	0.143
6.1.5	Zonas de Inundación	Si	3	3	ABCD	0.107
6.1.6	Cuerpos de Agua	No	0	5	ABCD	0.179
6.1.7	Pozos	No	0	4	ABCD	0.143
6.2	Estudios regionales	No	0	28	A	0.280
6.2.1	Estudio Geológico	No	0	8	A	0.308
6.2.2	Estudio Hidrogeológico	No	0	18	A	0.692
6.2.2a	Agua subterránea	No	0	6	A	0.333
6.2.2b	Acuífero	No	0	8	A	0.444
6.2.2c	Sistema de Flujo	No	0	4	A	0.222
6.3	Estudios y Evaluaciones	No	0	22	ABC	0.220
6.3a	Topográfico	No	0	4	ABC	0.182
6.3b	Geotécnico	No	0	6	ABC	0.273
6.3c	Evaluación geológica	No	0	8	AB	0.273
6.3c1	Litología	No	0	2	AB	0.333
6.3c2	Estatigrafía	No	0	4	AB	0.667
6.3d	Evaluación hidrogeológica	No	0	8	AB	0.273
6.3d1	Parámetros hidráulicos	No	0	3	AB	0.500
6.3d2	Unidades hidrogeológicas	No	0	3	AB	0.500
6.4	Estudios de Generación	No	0	24	ABC	0.240
6.4a	Generación y Composición	No	0	10	ABC	0.417
6.4b	Generación de Biogas	No	0	6	AB	0.250
6.4c	Generación de Lixiviados	No	0	8	AB	0.333
7	Construcción y Operación	No	24	100	ABC	0.500
7.1	Coefficiente de conductividad hidráulica	No	0	10	ABC	0.100
7.2	Extracción y Captación de Biogas	No	0	10	ABC	0.100
7.3	Extracción y Captación de Lixiviado	Si	10	10	ABC	0.100
7.4	Drenaje Pluvial	No	0	9	ABC	0.090
7.5	Área de Emergencia	Si	5	5	ABC	0.050
7.6	Compactación	No	0	9	ABC	0.090
7.7	Frecuencia de Cobertura	No	0	11	ABC	0.110
7.8	Residuos peligrosos, todos y acetas	No	0	11	ABC	0.110
7.9	Obras complementarias	Si	7	7	ABC	0.070
7.10	Documentos	No	2	5	ABC	0.050
7.10a	Manual de Operación	No	0	2	ABC	0.400
7.10b	Control de Registro	Si	2	2	ABC	0.400
7.10c	Informe de Actividades	No	0	1	ABC	0.200
7.11	Programa de monitoreo	No	0	9	ABC	0.090
7.11.1	Monitoreo de biogas	No	0	3	ABC	0.333
7.11.2	Monitoreo de Lixiviados	No	0	3	ABC	0.333
7.11.3	Monitoreo del Acuífero	No	0	3	ABC	0.333
7.12	Separación en el RS	No	0	4	ABC	0.040
8	Sitios tipo "D"	No	0	28	D	0.50
8.1	Impermeabilización del Sitio		0	7	D	0.25
8.2	Compactación		0	3	D	0.11
8.3	Frecuencia de Cobertura		0	5	D	0.18
8.4	Residuos Peligrosos		0	7	D	0.25
8.5	Control de Fauna nociva		0	4	D	0.14
8.6	Cercado		0	2	D	0.07
9	Clausura de Sitios	No	0	25	9	1.000
9.1	Cobertura Final	No	0	6	9	0.240
9.2	Conformación	No	0	6	9	0.240
9.3	Mantenimiento	No	0	6	9	0.240
9.4	Monitoreo	No	0	5	9	0.200
9.5	Uso final	No	0	2	9	0.080