

Riesgo socioambiental asociado al fenómeno lluvia - escurrimiento en tiraderos de residuos sólidos urbanos en Ensenada, Baja California

Gámez Balmaceda, Ena del Carmen

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, México. egamez@cicese.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9805-7758>

González Acevedo, Zayre Ivone

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, México. zgonzale@cicese.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3293-0563>

García Zárate, Marco Antonio

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, México. margarci@cicese.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3293-3000>

López Lambraño, Alvaro Alberto

Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México. alopezl@uabc.edu.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7899-7985>

Autor de correspondencia: Ena del Carmen Gámez Balmaceda, egamez@cicese.mx, enagamez@gmail.com

Citar este capítulo: Gámez-Balmaceda, E.C, González Acevedo, Z.I., García Zárate M.A., López-Lambraño A.A. Riesgo socioambiental asociado al fenómeno lluvia - escurrimiento en tiraderos de residuos sólidos urbanos en Ensenada, Baja California. En: Frausto, O. y Pérez, R. (Coordinadores)(2023). 11a Reunión nacional de la REDESClim: Curva de aprendizaje en la gestión multidimensional del riesgo. 13 - 15 de septiembre de 2023, Universidad Autónoma de Guerrero, Taxco, México.

Resumen:

Este estudio expone una aproximación del riesgo social y ambiental, derivados de actividades antropogénicas y naturales, asociado al fenómeno lluvia-escurrimiento en el municipio de Ensenada. Para lograr este objetivo se analizaron 152 tiraderos no regulados, obtenidos a partir de datos bibliográficos, con modelos de evaluación hidrológica para rellenos sanitarios. Los modelos utilizados fueron HELP de la Agencia

de Protección al Ambiente de EE. UU, y CORENOSTÓS de Colombia. Se emplearon datos de las características físicas de los tiraderos, datos climatológicos para el periodo 2008 a 2019, datos de cobertura vegetal, topografía y textura de suelo en diferentes capas superficiales del suelo. Se consideró como factor de amenaza la cantidad de lixiviados y gases obtenidos como una aproximación preliminar en el periodo evaluado. Los elementos expuestos analizados fueron la población, el suelo y el recurso hídrico. Entre los resultados principales, se identificó la zona de un acuífero, ubicado en la delegación de Maneadero, expuesto al peligro de contaminantes generados por 1,100 toneladas de basura por año, que producen aproximadamente 90 m³ de lixiviados, de los cuales el 7% es percolado en las primeras tres capas del subsuelo. La población en riesgo por su salud, a consecuencia de la basura, se encuentra dentro de un radio de 500 m alrededor de los tiraderos, correspondiente a 167,110 personas. En el mismo radio se encontraron 172 escuelas expuestas a los gases y líquidos potencialmente tóxicos estimados.

Palabras clave: [Exposición, tiraderos de basura, agua.](#)

Línea temática: [Línea temática 2. Diagnóstico y análisis de procesos.](#)

Introducción

Los escurrimientos superficiales en las zonas urbanas, ocasionados por las lluvias de diferente intensidad, pueden generar daños materiales directos e indirectos en viviendas, infraestructura y población (Baró Suárez *et al.*, 2012). Además de estos daños, los escurrimientos van acompañados de una amenaza colateral, el transporte de elementos potencialmente tóxicos, relacionado a las actividades antropogénicas, que representa un riesgo a la salud y a los recursos naturales (Gaffield *et al.*, 2003).

Con el propósito de identificar y analizar el riesgo al ambiente y la salud de las personas, se analiza la amenaza de contaminación, que resulta del manejo inadecuado de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) al ser transportados a través del aire, suelo y agua. Este problema está presente en muchas ciudades del país (SEMARNAT, 2020), incluyendo Ensenada, Baja California, un municipio muy importante en el contexto económico (Padilla y Sotelo, 2016); donde se recolectan alrededor de 500 toneladas de basura por día con destino a un relleno sanitario, diseñado para evitar la percolación de lixiviados a las capas superficiales del suelo. Sin embargo, existen alrededor de 200 tiraderos no regulados de basura en la zona urbana, distribuidos en terrenos baldíos, cerros y arroyos, sin el manejo adecuado sobre la basura.

Como parte de la contribución a la identificación de amenaza que representan los RSU dispuestos en el municipio de Ensenada, este estudio tiene como objetivo hacer una estimación preliminar de la cantidad de líquidos y gases, como contaminantes producto de la biodegradación, en los tiraderos clandestinos de tres delegaciones municipales.

Para alcanzar este objetivo se analizaron los datos de los tiraderos reportados por Mendoza López (2012) con fecha de inicio en el año 2009, y algunos sitios reportados por distintos medios de comunicación hasta el año 2019 (apéndice). Este análisis consiste en la aplicación de modelos empíricos de evaluación hidrológica, de parámetros basados en datos climatológicos de un periodo seleccionado, la caracterización física de los sitios de disposición de la basura y de las condiciones del medio natural. Además, se realizó la delimitación de las cuencas que contienen estos sitios, para analizar los escurrimientos superficiales que podrían combinarse con lixiviados en su curso.

Las herramientas de modelación hidrológica ayudan a comprender el fenómeno lluvia - escurrimiento y facilitan la estimación, incluyendo el arrastre de cualquier otro líquido o sedimentos que resulten como contaminantes, así como la cantidad de drenaje subsuperficial e infiltraciones (Hernández-Uribe *et al.*, 2017; Schroeder *et al.*, 1994). En este sentido, se determinó la amenaza mediante el uso de dos herramientas, el modelo CORENOSTÓS de Colombia (Collazos, 2005), para la simulación de lixiviados y biogás, que se pueden presentar en un relleno sanitario (Gutiérrez-Gil *et al.*, 2018; Rivas-Armenta *et al.*, 2017), y el modelo HELP V 4.0 de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de Estados Unidos (Krause & Tolaymat, 2020), como complemento para la estimación de los escurrimientos y percolaciones de lixiviados (Muthukamara *et al.*, 2015; Podlasek, 2022). La generación de lixiviados, la concentración de contaminantes y el transporte por viento o escurrimiento superficial están influenciados por la hidrología de los sitios de disposición final (Mowjood *et al.*, 2013; Salles *et al.*, 2011).

Una vez definida la amenaza y con base a los datos del censo de población y vivienda de INEGI 2020 y a la NOM-083-SEMARNAT-2003; se consideraron como elementos expuestos:

La población cercana a los tiraderos no regulados

Los centros educativos

El suelo

Un acuífero expuesto en el área de estudio

Los arroyos intermitentes que confluyen en el mar

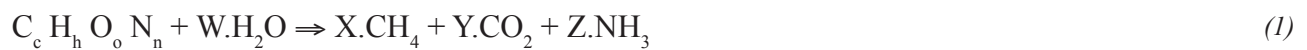
Las playas de Ensenada, que forman parte del atractivo turístico de la ciudad y por lo tanto de su economía.

Teoría

El modelo CORENOSTÓS desarrollado por Collazos (2005) evalúa el proceso de llenado de un relleno sanitario, calculando los gases y lixiviados que se van produciendo. Dicha evaluación, considera procesos de biodegradación de los residuos orgánicos dispuestos y procesos de infiltración del agua de lluvia que entra en contacto directo con los lechos de basura tipo doméstica dispuesta. Define como lixiviado al líquido efluente de la

basura como consecuencia de la pérdida de humedad por descomposición bioquímica, por compactación y por infiltración de líquidos al lecho de basuras, y que, por arrastre, provoca la extracción de materiales disueltos o en suspensión (Echeverry y Collado, 2013).

El modelo considera que la descomposición de la basura inicia al momento en que se deposita alcanzando aproximadamente un 15% de descomposición al fin de su primer año. De este momento hasta terminar el quinto año se habrá descompuesto el 80%. Asume que la basura estará compuesta por agua, materiales putrescibles, papel, cartón, textiles, madera y poda de árboles, arena, plásticos, caucho, vidrio y metales. Calcula el conjunto de gases, compuestos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno; representados en la Eq. [1], que intervienen en la biodescomposición (Echeverry y Collado, 2013).



Las variables consideradas en el modelo CORENOSTÓS son: cantidad de basura dispuesta en el sitio, su clasificación en porcentaje de putrescibles, papel y cartón, textiles, jardinería y otros, al igual que su porcentaje de humedad, peso en toneladas por mes y año, tiempo en el que se va a depositar la basura, temperatura media del sitio, presión atmosférica, altitud, área expuesta al agua de lluvia, pendiente superficial del sitio, textura de suelo en la capa superficial, espesor del material, precipitación y evapotranspiración potencial mensual en el periodo evaluado.

El programa HELP es un modelo hidrológico desarrollado por la Agencia de Protección al Ambiente de EE. UU (EPA, por sus siglas en inglés) (Krause & Tolaymat, 2020) para el análisis del balance hídrico de vertederos, sistemas de cobertura e instalaciones de residuos sólidos. El modelo permite el diseño y mantenimiento de vertederos, por medio de la estimación rápida del escurrimiento, evapotranspiración, drenaje, la infiltración y otras vías hídricas para estimar la cantidad de agua que se acumula por encima del revestimiento de cada vertedero (Schroeder *et al.*, 1994).

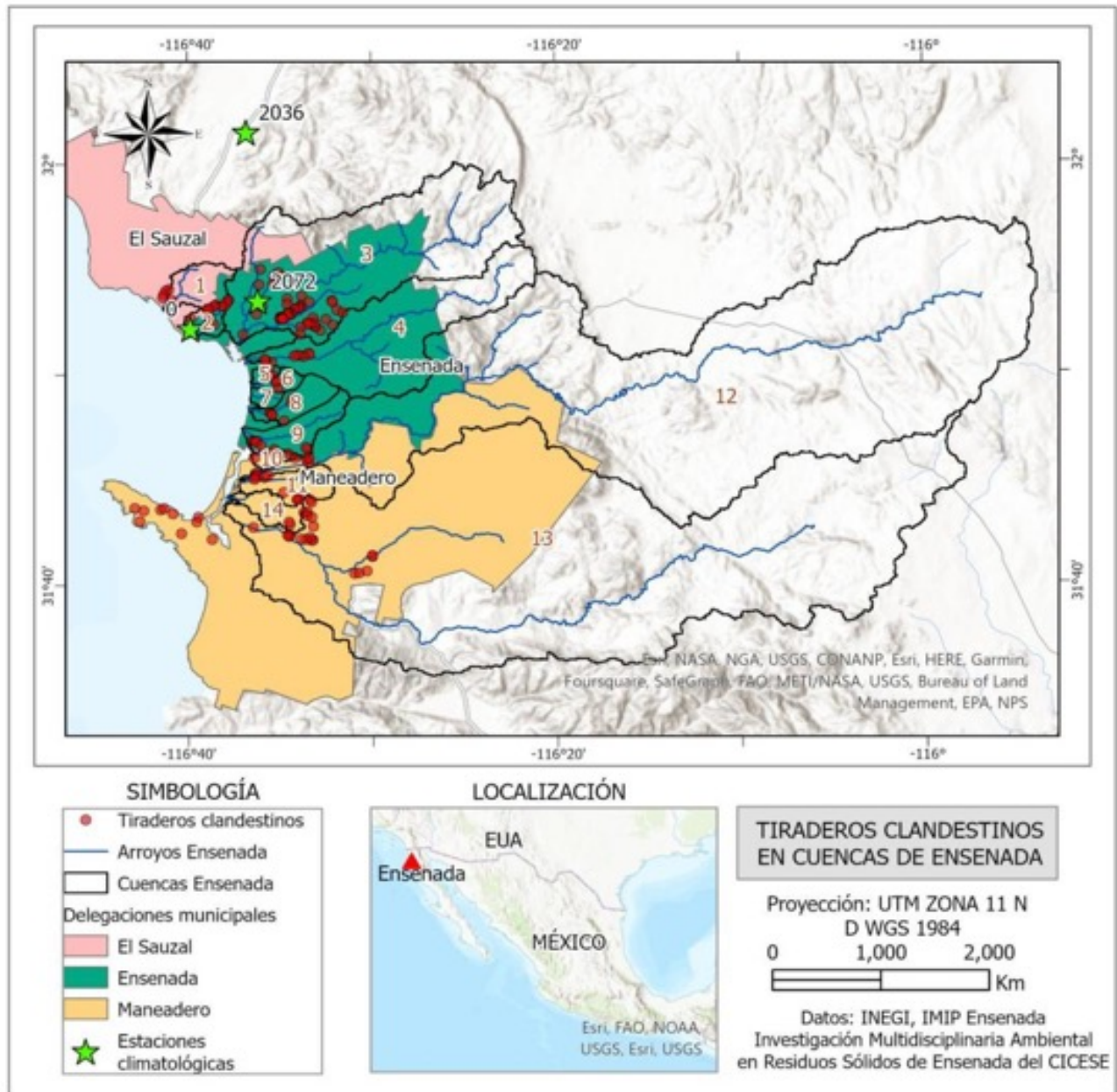
Este modelo realiza un análisis del balance hídrico para un periodo mínimo de un año, a partir de datos meteorológicos diarios, con un límite de tres estaciones climatológicas, no acepta una cantidad diferente de estaciones. Considera efectos de almacenamiento en superficie, escorrentía, infiltración, evapotranspiración, crecimiento vegetativo, almacenamiento de humedad en el suelo, drenaje subterráneo y subsuperficial. La infiltración diaria en el vertedero se determina indirectamente a partir de un balance de agua superficial. El modelo asume que cada día la infiltración es igual a la suma de la precipitación, menos la suma del escurrimiento, el almacenamiento superficial y la evaporación. El flujo percolado es descendente debido al drenaje por gravedad o extraído por evapotranspiración. Los escurrimientos superficiales son modelados por medio del método del número de curva (CN) del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos (SCS, 1972), para obtener este número de curva se requiere información del tipo

de suelo, pendiente del terreno y uso de suelo. La evapotranspiración potencial se calcula por medio del método Penman-Monteith para predecir la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Para obtenerla se requiere información del tipo de vegetación e índice de área foliar (Schroeder *et al.*, 1994).

Materiales y métodos

La zona de estudio corresponde al municipio de Ensenada, localizado en el noroeste de México, tiene un clima semiárido, con lluvias de tipo convectivas que se caracterizan por ser intensas y de corta duración. La precipitación promedio anual aproximada es de 254 mm (López-Lambraño *et al.*, 2016), donde la temporada de lluvias suele darse entre noviembre y abril. El rango de temperatura media anual oscila entre 14 y 18 °C (INEGI, 2016). El paisaje topográfico es variable, con pendientes pronunciadas, valles aluviales y una llanura costera aluvial (Smith *et al.*, 2007). El municipio de Ensenada está compuesto por 16 delegaciones municipales con 443,807 habitantes (INEGI 2020). En el municipio se tienen actividades económicas representativas del país: agricultura, pesca, industria, turismo, que derivan del clima, su ubicación en la zona fronteriza y el arribo de barcos comerciales y turísticos; que generan importancia económica y el incremento anual de la población (COPLADE, 2017).

La metodología empleada consiste en un proceso dividido en cinco etapas, caracterizadas por un compendio de datos obtenidos en diferentes fuentes de información. La primera etapa fue la selección de los tiraderos no regulados, que se llevó a cabo por medio de una revisión bibliográfica; artículos científicos, tesis y registros de diferentes medios de comunicación local (apéndice). De esta revisión se seleccionaron 152 tiraderos a cielo abierto, principalmente de Mendoza López (2012), por contener información sobre su localización geográfica, superficie (100 - 76,000 m²), antigüedad de los sitios, registrada en 2009 y dimensiones lineales. Estos tiraderos se encuentran distribuidos en terrenos baldíos, cerros y arroyos, de tres delegaciones municipales: El Sauzal, Ensenada y Maneadero (Figura 1).

Figura 1. Localización de tiraderos clandestinos y cuencas en el área de estudio.

La segunda etapa consistió en la caracterización de los tiraderos clandestinos, resultado de un análisis bibliográfico. Los espesores de la basura se obtuvieron por medio de una aproximación visual de las fotos de los sitios contenidas en Mendoza López (2012), y las fotografías publicadas en los medios de comunicación consultados (apéndice). Estos espesores se multiplicaron por el área contenida para obtener el volumen. Las toneladas de basura en cada sitio se obtuvieron mediante el cálculo del volumen por un peso volumétrico. El peso volumétrico de la basura varía en distintas partes del país, por estrato social, que va desde 140 kg/m³ (García Vargas *et al.*, 2016) hasta 500 kg/m³ (Susunaga-Miranda *et al.*, 2022). Sin embargo, al no contar con un estudio local sobre este peso, se adoptó el

peso volumétrico de 115.45 kg/m³ reportado por SEMARNAT para la región Noroeste (SEMARNAT, 2020). La clasificación del tipo de basura también fue una aproximación visual de las fotos de los tiraderos reforzada por la caracterización de la basura en Ensenada realizada en 2009 (Hernández-Berriel *et al.*, 2016), de la siguiente manera: 30% material putrescibles, 20% papel y cartón, 20% textiles, 10% jardinería y 20% otros.

La tercera etapa continuó con la adquisición de datos del medio natural. Inició con la delimitación de las subcuencas, arroyos, la localización de los tiraderos en las subcuencas y la pendiente en que se encuentran, para modelar el escurrimiento superficial. Se delimitaron 14 subcuencas de la cuenca Todos Santos del municipio de Ensenada, 13 de ellas contienen tiraderos no regulados de basura (Figura 1). Este proceso se realizó a partir de un modelo de elevación LIDAR y la herramienta ArcGIS Pro. El resumen de las cuencas con las características de tiraderos no regulados se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de tiraderos no regulados en subcuencas de Ensenada utilizados en las modelaciones de evaluación hidrológica para la estimación preliminar de

Cuenca/ Ubicación	Tiraderos	Hectáreas	Pendiente (%)	Textura de suelo	Espesor subsuelo (cm)	Basura (Ton/ año)	Basura (Ton/mes)
1 - Sauzal	5	2.2	26.0	Arena	100	101.6	8.5
2 - Pedregal P	12	3.0	25.5	Arcilla, limo, arena	100	274.1	22.8
3 - Presa Emilio LZ	54	7.9	18.6	Arena	100	735.3	61.3
4 - El Gallo	9	1.1	15.6	Arena	100	132.4	11.0
5 - Playa Hermosa	5	0.6	14.3	Arcilla, limo, arena	100	69.6	5.8
6 - Valle Dorado	3	0.9	17.8	Arcilla, limo, arena	100	105.6	8.8
8 - Aeropuerto	6	1.8	16.2	Arcilla, limo, arena	100	208.5	17.4
9 - Chapultepec	8	1.5	18.4	Arcilla, limo, arena	100	169.9	14.2
10 - Manadero	4	8.1	10.3	Arcilla, limo, arena	100	930.8	77.6
11 - Manadero	5	0.3	8.4	Arcilla, limo, arena	100	34.6	2.9
12 - San Carlos	8	2.2	4.8	1-Arcilla y arena, 2 - Grava, arena, arcilla y cantos rodantes, 3 - Grava, arena y arcilla	5100	253.4	21.1

Tabla 1. Datos de tiraderos no regulados en subcuencas de Ensenada utilizados en las modelaciones de evaluación hidrológica para la estimación preliminar de líquidos y gases generados por la basura. (Continuación).

Cuenca/ Ubicación	Tiraderos	Hectáreas	Pendiente (%)	Textura de suelo	Espesor subsuelo (cm)	Basura (Ton/ año)	Basura (Ton/mes)
13 - Maneadero	21	9.4	12.2	Textura cuenca 12	5100	1,086.4	90.5
14 - Maneadero	2	0.1	20.0	Textura cuenca 12	5100	5.8	0.5
Esteban Cantú	10	0.5	21.3	Arcilla, limo, arena	100	2.1	0.2

Luego se determinó la textura de las capas superficiales del suelo, que corresponden a suelos tipo 1 (textura gruesa) con más de 65% de arena, menor capacidad de retención de agua y nutrientes para las plantas. Y suelos tipo 2 (textura media) denominados francos, equilibrados en el porcentaje del contenido de arena, arcilla y limo, la profundidad de estas capas de suelo va de 50 a 100 cm profundidad (INEGI, 2004). Se seleccionaron los datos de uso de suelo de INEGI para el cálculo de índice de área foliar y el indicador de humedad para el cálculo de la evapotranspiración requerido por ambos modelos, considerando una zona semiárida (Del Toro-Guerrero *et al.*, 2014). Siguiendo el procesamiento de datos, se seleccionaron las tres estaciones climatológicas requeridas por el modelo HELP, en la Figura 1 corresponden a 0, 2036 y 2072. Se obtuvieron datos diarios de precipitación y temperatura en el periodo 2009 a 2019. Estos datos se resumen en las Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 2. Descripción de datos cartográficos utilizados en este estudio.

Datos	Descripción	Fuente
Precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento presión atmosférica	Datos diarios de estaciones automáticas, Guadalupe (2036), CICESE (0) y Emilio López Zamora (2072). Periodo 2008 a 2019	CICESE http://observatorio.cicese.mx/
MDT, regiones hidrológicas, uso de suelo y tipo de suelo (Mapa de edafología)	Modelo digital de elevación de alta resolución. LIDAR (5x5 m), cobertura vegetal y textura de suelo de 30 a 100 cm.	INEGI
Delegaciones municipales, escuelas, población y vivienda por de AGEBS y manzanas, incluye el índice de rezago social de 2020	Ubicación cartográfica con datos del censo de 2020.	IMIIP, INEGI Y CONEVAL. https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Interactivos_municipal.aspx

Tabla 3. Precipitación y evapotranspiración anual obtenida del promedio de datos anuales de las tres estaciones utilizadas en este estudio (2036, 0, 2072).

Año	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (mm)
2008	279.34	151.24
2009	130.00	78.12
2010	364.00	160.32
2011	180.50	118.63
2012	364.23	179.95
2013	242.30	79.33
2014	85.70	51.02
2015	156.40	73.16
2016	280.40	230.00
2017	333.20	190.00
2018	196.24	109.23
2019	263.60	119.00

La cuarta etapa fue el modelado hidrológico con los programas CORENOSTÓS y HELP, a partir de los datos obtenidos en las etapas anteriores y adaptado a las características físicas de los tiraderos a cielo abierto. El periodo considerado fue de 2008 a 2019, tomando en cuenta la antigüedad de los basureros reportados desde 2009, con un año de excedencia, hasta 2019 de acuerdo con los datos climatológicos disponibles. El programa CORENOSTÓS hace una estimación aproximada de lixiviados y gases en los tiraderos, utiliza la textura de suelo únicamente de la primera capa del terreno y no determina las percolaciones. Como resultado indica el espesor que debería tener la capa superficial para evitar las percolaciones. En cambio, el programa HELP permite modelar diferentes estratos de suelo, y proporciona las percolaciones de líquidos combinados con la lluvia que se podrían dar en las capas de suelo modeladas. De tal manera que estos modelos se utilizaron para complementarse entre sí y poder analizar la amenaza.

En las subcuencas de la delegación Maneadero se obtuvo información estratigráfica de tres capas de suelo: de 0 a 9 m arcilla y arena, de 9 a 21 m grava, arena arcilla y cantos rodantes; de 21 a 51 m grava, arena y arcilla (Sarmiento López, 1996); éstas se modelaron en la zona donde se localiza el acuífero (Medellín-Azuara *et al.*, 2013). Todas las modelaciones se llevaron a cabo en cada uno de los tiraderos, pero sus datos se agruparon por subcuencas para el análisis de la amenaza en los arroyos. Por ejemplo, como se muestra en la Tabla 1, en la cuenca 1-Sauzal se encuentran 5 tiraderos, que fueron modelados individualmente, la suma total del área cubierta de los tiraderos fue de 2.2 hectáreas, sobre una capa superficial de suelo, de acuerdo al mapa de edafología, de 100

cm de espesor; las toneladas de basura aproximadas por año fue de 101.6, que resultó del peso reportado en 2012 entre su antigüedad reportada en 2009 (Mendoza López, 2012).

Finalmente, la quinta etapa consistió en la obtención de datos de elementos expuestos y su análisis para la identificación del riesgo. Como elementos expuestos, además de los elementos naturales como arroyos, acuíferos y el agua de mar, se consideró a la población cercana a los tiraderos no regulados, dentro de un radio de 500 m, incluyendo a los centros educativos. Se adoptó este radio con base en el reglamento de manejo de residuos sólidos urbanos de Ensenada (2008) y la NOM-083-SEMARNAT-2003 sobre la ubicación de sitios de disposición final, donde se indica que los sitios deben estar a una distancia mínima de 500 m de la población y de áreas inundables. Los datos utilizados en este análisis fueron las manzanas de las tres delegaciones, con datos del censo de población y vivienda del censo 2020 de INEGI y centros educativos obtenidos de INEGI. En suma, a estos datos se incluyó el índice de rezago social a nivel de áreas geoestadísticas urbanas (AGEBs), que está conformado por áreas geográficas ocupadas por un conjunto de manzanas, definido por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2021), con base en el Censo de Población y Vivienda 2020 de INEGI. Este índice de rezago social se utilizó como un indicador social de vulnerabilidad en el análisis de este estudio para la identificación del riesgo en la población expuesta.

Resultados

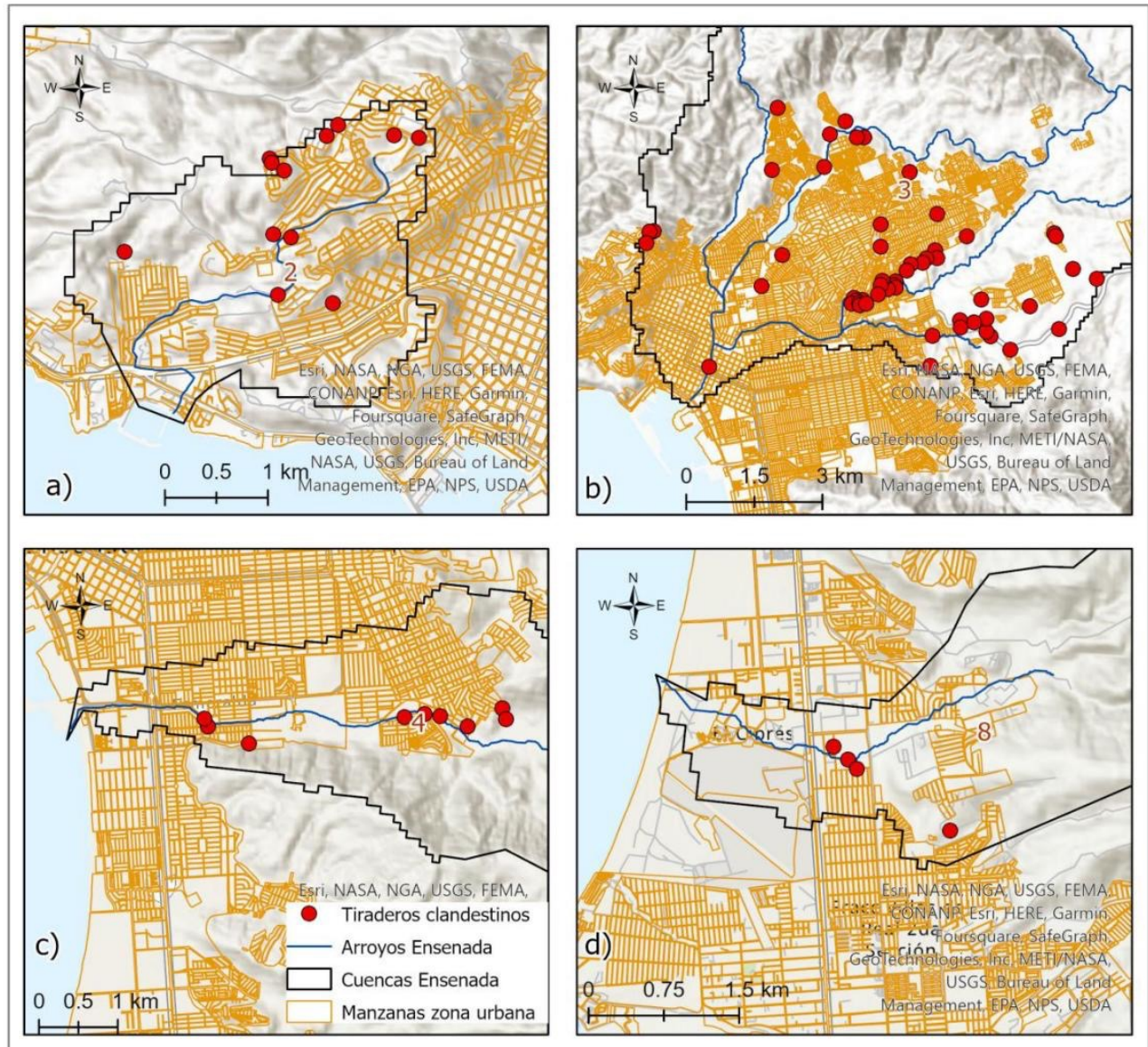
Se obtuvieron estimaciones de la cantidad de biogás y lixiviados con el modelo CORENOSTÓS y percolaciones que se podrían generar por la basura dispuesta en cada uno de los tiraderos clandestinos con el programa HELP. El programa CORENOSTÓS mostró que se estarían produciendo de 280 a 284 m³ de gases por tonelada descompuesta, correspondiente a dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) liberado en la fermentación anaeróbica de la basura, para el rango de temperaturas de 14 a 18 °C.

Como se muestra en la Tabla 4, el resultado de las estimaciones preliminares de lixiviado en cada tiradero se agrupó por subcuencas y por arroyos que conducen sus escurrimientos al mar (Figura 2). En los tiraderos localizados en los arroyos de las subcuencas 2, 3, 4 y 8 se produjeron lixiviados y escurrimientos que van del 0.8 a 12% del agua precipitada en promedio anual. Con base en el conocimiento de que en estos arroyos se generan grandes escurrimientos de agua precipitada para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años (B.C, 2014; Gámez-Balmaceda *et al.*, 2020; Torres *et al.*, 2012), y se presentan inundaciones en cada periodo, los resultados indicarían, de acuerdo al periodo modelado 2008-2019, que parte del lixiviado generado en los arroyos se mezcló con los escurrimientos de las inundaciones ocurridas en años anteriores, y pudo contribuir a la contaminación de las playas de Ensenada.

Tabla 4. Amenaza de lixiviados que se generan en cada una de las subcuencas de Ensenada por tiraderos clandestinos y elementos expuestos. NBA indica que no se encontraron basureros en los arroyos.

Subcuenca/ Ubicación	Subcuenca/ Ubicación	Aproximación de percolaciones promedio anual (%)	Aproximación de lixiviados de tiraderos en arroyos (m ³ /año)	Escorrimento promedio anual (%) de tiraderos en arroyos	Elementos expuestos cercaos a tiraderos clandestinos
1 - Sauzal	12.06	42	NBA	NBA	Población
2 - Pedregal P	23.99	41.48	0.53	0.84 - 1.3	Población y arroyo
3 - Presa Emilio LZ	51.88	35.63	10.32	1.94 - 10	Población, arroyo y escuelas
4 - El Gallo	1.82	40	8.63	1.66 - 19	Población y arroyo
5 - Playa Hermosa	9.52	42.08	NBA	NBA	Población y escuelas
6 - Valle Dorado	13.46	41.79	NBA	NBA	Población y escuelas
8 - Aeropuerto	17.183	41.35	0.5	1.25 - 8.24	Población
9 - Chapultepec	24.49	42.68	NBA	NBA	Población
10 - Maneadero	118.21	31.91	NBA	NBA	Población y escuelas
11 - Maneadero	4.76	12.39	NBA	NBA	Población
12 - Maneadero	34.42	7.99	NBA	NBA	acuífero
13 - Maneadero	90.40	7.57	1.52	1.7 - 12%	acuífero
14 - Maneadero	1	7.82	NBA	NBA	acuífero
Esteban Cantú	2.1	42.7	NBA	NBA	Población

Figura 2. Exposición de arroyos ante la amenaza de lixiviados generados por tiraderos clandestinos.



Como se observa en la Tabla 4, las subcuencas con mayor cantidad de lixiviados estimados corresponden a la cuenca 3 de la zona centro de Ensenada y las cuencas 10 y 13 de Maneadero. Las percolaciones máximas estimadas, después de la primera capa, fueron aproximadamente del 43% en los suelos donde se ubican los tiraderos, compuestas con lluvia y lixiviado.

En la zona de las cuencas 11 a 14 se encuentra expuesto un acuífero (Figura 3) a una profundidad de aproximadamente 650 m (Daesslé *et al.*, 2005). Sin embargo, el programa permitió modelar los tiraderos con tres estratos de suelo con una columna de 51 m. A

esta profundidad se obtuvieron percolaciones que van de 7.57 a 12.39%, después de la tercera capa de suelo modelada.

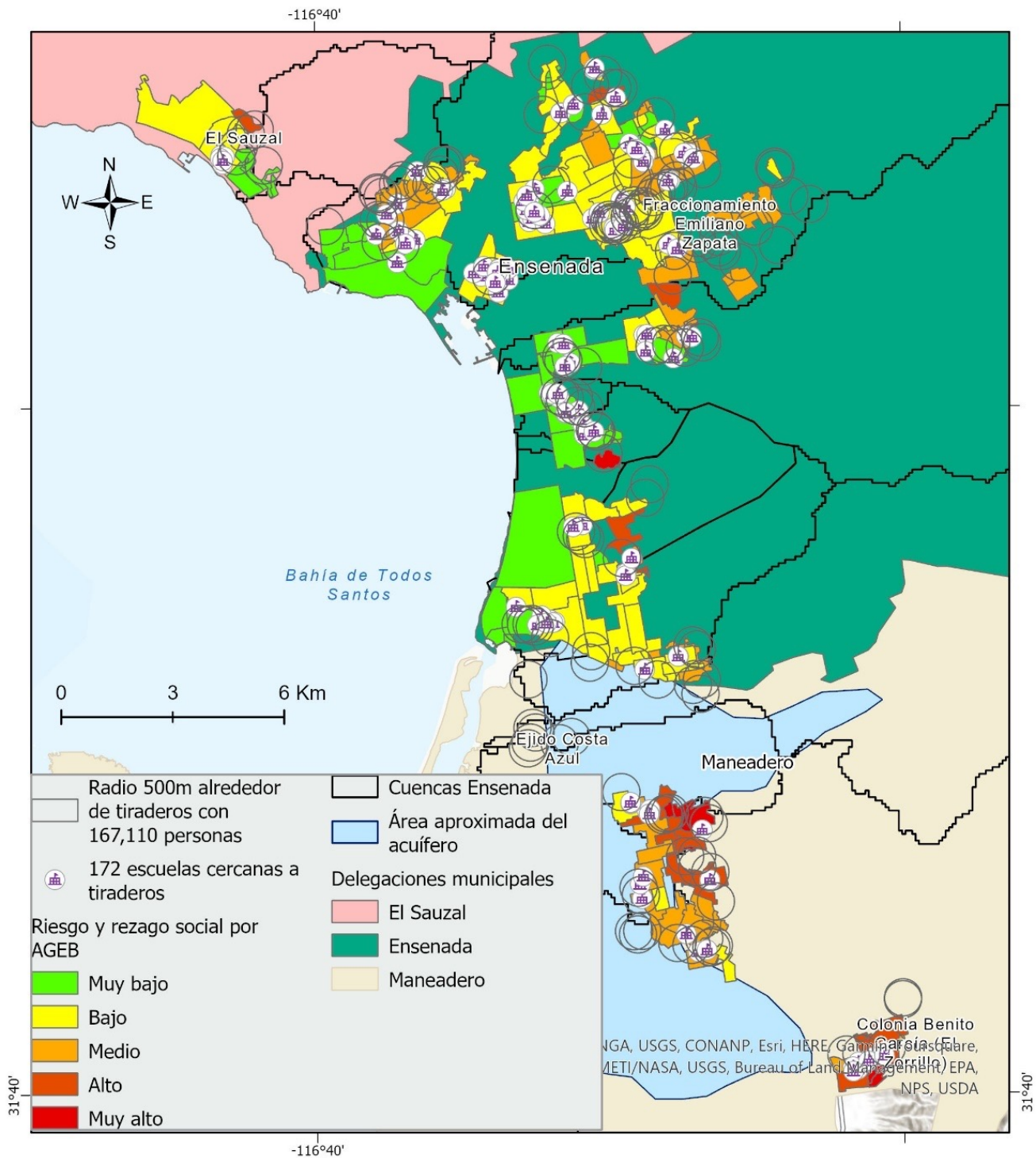
La cantidad de lixiviado producido en los tiraderos no regulados, se ha considerado una amenaza para el subsuelo y el agua pluvial de los arroyos, ya que se encontró que gran parte se infiltra en suelo y otra se escurre y es arrastrada hacia el mar. Si continúa el mismo hecho, al combinarse los lixiviados con el agua de mar, y las aguas residuales tratadas o semi tratadas, se expone la salud de las personas que se recrean en las playas de Ensenada, o se produce el cierre de las playas como ha ocurrido en varias ocasiones (apéndice), de tal manera que se pone en riesgo la economía que depende del turismo de las playas de Ensenada.

Como elementos expuestos se consideró en este estudio a la población y las escuelas cercanas a los tiraderos no regulados en un radio de 500 m. En este radio se encontraron 3,321 manzanas expuestas, con un total de 49,067 viviendas y 172 escuelas. En la delegación de El Sauzal se encontraron expuestas 2,003 viviendas con una población total de 4,067 personas; en la delegación de Ensenada se encontraron expuestas 41,225 viviendas y una población total de 140,978 personas, y en la delegación de Maneadero se encontraron expuestas 5,809 viviendas y una población total de 22,065 personas con un índice de rezago social que va de alto a muy alto (Figura 3). En relación a la población expuesta se consideró como factor de amenaza los gases que se producen en los tiraderos, y son un riesgo para la salud de las personas (SEMARNAT, 2019). Entre los efectos que puede sufrir la población por el CO₂ producido están: dolor de cabeza, mareos, nerviosismo, parestesia; disnea (dificultad para respirar); sudoración, malestar general (sensación vaga de malestar); aumento de la frecuencia cardíaca, gasto cardíaco, aumento en la presión arterial, estado de coma, asfixia, convulsiones, etc. El CH₄ tendría efectos en la población de irritar los pulmones, los ojos y la piel (Cárdenas-Moreno *et al.*, 2017).

Para clasificar el riesgo al que se encuentra expuesta la población se utilizó el índice de rezago social, como un factor de vulnerabilidad social. Este índice, calculado por el CONEVAL en 2020, está asociado a la carencia de la calidad de vida, el acceso a los servicios básicos, acceso a la salud, educación y alimentación nutritiva (Baja California, 2022). Cuando el índice es alto, se encuentra una población marginada, de bajos ingresos, gente que vive cerca de los tiraderos, personas que viven en situación de indigencia haciendo uso de la basura y crean más basura. Al mismo tiempo son vulnerables a los efectos, están en mayor exposición a sufrir enfermedades y no cuentan con los recursos para enfrentarse, carecen de servicios incluyendo la derechohabiencia de la salud. Cuando la población está expuesta al mismo nivel de amenaza, lo que determina el riesgo, es la vulnerabilidad: a mayor vulnerabilidad, mayor riesgo. Otro elemento en riesgo que se ha identificado, a causa de los posibles contaminantes por lixiviados, fue la economía que

se podría afectar por la disminución en la producción agrícola, o la disminución de la actividad turística por el cierre de las playas de Ensenada debido a la contribución de contaminantes.

Figura 3. Nivel de riesgo dentro de un radio de 500 metros a los tiraderos no regulados.



Conclusiones

Los resultados de las modelaciones obtenidas con los programas HELP y CORENOSTÓS indican que existe la amenaza de contaminación por lixiviados hacia el suelo y el agua de los arroyos que confluyen en el mar. Esto implica que la basura depositada en estos tiraderos no regulados está contribuyendo a que el agua de las playas de Ensenada no esté en buenas condiciones para la población y turistas que las usan.

El empleo del primer modelo fue necesario para analizar cuanto lixiviado se podría generar por año y el segundo modelo para conocer cómo sería su transporte superficial o percolación en las diferentes capas del suelo. Lo cuál hace útil el empleo de ambos modelos en este tipo de análisis.

La identificación de la amenaza a través de las estimaciones obtenidas, con una muestra de los elementos expuestos permitió identificar parte del riesgo al que se encuentra la población por la mala disposición de los residuos sólidos. En el área del acuífero, correspondiente a la delegación de Maneadero no fue posible determinar la amenaza en su totalidad por falta de datos. Sin embargo, se pudo observar que a la profundidad de 51 m existen percolaciones de agua con lixiviados. Por lo tanto, es importante que se considere este dato para tomar acciones y no afectar la agricultura que se da en esta zona.

Los valores obtenidos a través de los modelos empleados están basados en técnicas empíricas o semiempíricas. Adicionalmente, los datos utilizados resultaron de una revisión bibliográfica. No se incluyeron mediciones físicas o químicas, ni ensayos de laboratorio, y se trabajó solo con los datos climatológicos disponibles. Por lo tanto, los resultados obtenidos son una aproximación preliminar de los gases y lixiviados, no pretenden sustituir los datos de laboratorio o datos generados sobre el terreno. Sin embargo, estos resultados representan una base y justificación para llevar a cabo estudios para la obtención de datos y dar continuidad a este estudio a través de verificaciones en campo.

Los resultados de este estudio constituyen una estimación mínima de los lixiviados y gases que podrían esperarse, para identificar la amenaza y riesgo que representa la mala disposición de la basura. Sirven para dar a conocer que existe un problema y que debe atenderse. A pesar de estas estimaciones, los resultados que se reportan pueden servir como punto de partida para dar seguimiento a este problema. Las acciones de gestión de los residuos deben abordarse en colaboración con diversas disciplinas de manera constante para preservar el desarrollo.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Grupo Interdisciplinario de Investigación en Sustentabilidad de Ensenada (GRIINS), CICESE, al IMIP Ensenada por la facilitación de datos de los tiraderos no regulados, y al departamento de meteorología del CICESE por los datos climatológicos.

Referencias

- [1] Ayuntamiento de Ensenada. (2021). 4 de enero de 2021, la recolección de basura incrementó cerca de un 80 por ciento en comparación con 2019. <https://www.ensenada.gob.mx/?p=7308>.
- [2] Ayuntamiento de Ensenada. (2008). Reglamento de manejo de residuos sólidos urbanos y aseo público para el municipio de Ensenada, Baja California.
- [3] Baja California C. E. de P. C. (2014). Atlas de Riesgos de Baja California. Obtenido de <http://www.proteccioncivilbc.gob.mx/Atras/BajaCalifornia.html>
- [4] Baja California. (2022). Secretaría de Bienestar. Diagnóstico del Entorno de Baja California 2022-2027. Obtenido de : <https://bajacalifornia.gob.mx/Documentos/coplade/Diagn%C3%B3stico%20del%20Entorno%20de%20Baja%20California%20PED%20BC%202022-2027.pdf>
- [5] Baró Suárez, J. E., Días Delgado, C., Calderón Aragón, G., Esteller, M., Cadena, E., & Franco, R. (2012). Metodología para la valoración económica de daños potenciales tangibles directos por inundación.
- [6] Cárdenas-Moreno, P. R., Robles-Martínez, F., Colomer-Mendoza, F. J., & Piña-Guzmán, A. B. (2017). Herramientas para la evaluación de riesgos sobre el ambiente y salud, por la disposición final de residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 32, 47-62. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.04>
- [7] COPLADE (2017). Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado. Enero 2017. *Publicaciones Sociodemográficas/Baja California*, (55), 1-8. Obtenido de [http://www.copladebc.gob.mx/publicaciones/2017/Mensual/Ensenada 2017.pdf](http://www.copladebc.gob.mx/publicaciones/2017/Mensual/Ensenada%202017.pdf).
- [8] Collazos H. (2005). Diseño y operación de rellenos sanitarios, Bogotá D.C. (Colombia): Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005, 233 p
- [9] CONEVAL (2021). Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Comunicado No4. El CONEVAL presenta el **índice** de Rezago Social 2020/ Ciudad de México a 26 de abril de 2021.
- [10] Echeverry Jaime y Collazo Héctor (2013). Corenostós. Tercera versión.
- [11] Daesslé, L. W., Sánchez, E. C., Camacho-Ibar, V. F., Mendoza-Espinosa, L. G., Carriquiry, J. D., Macias, V. A., & Castro, P. G. (2005). Geochemical evolution of groundwater in the Maneadero coastal aquifer during a dry year in Baja California, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 13(4), 584-595. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0353-1>






- [12] Del Toro-Guerrero, F. J., Kretzschmar, T., & Hinojosa-Corona, A. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 5(6), 69-81. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000600005&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- [13] Gaffield, S. J., Goo, R. L., Richards, L. A., & Jackson, R. J. (2003). Public Health Effects of Inadequately Managed Stormwater Runoff. *American Journal of Public Health*, 93(9), 1527-1533. <https://doi.org/10.2105/AJPH.93.9.1527>.
- [14] Gamez Balmaceda E., López Lambraño A., Villacís C., Seingier G., Rivera H., Barós Suárez J. (2020). Metodología multidisciplinar en la evaluación integral del riesgo de inundación: caso de estudio Ensenada B.C., México. En: Morales, González, Welsh y Frausto. *Gestión de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en sistemas socio-ecológicos*. México, AM Editores, p. 71 a 95.
- [15] García Vargas M.C.; Rangel García E.I.; García Arreola A. (2016). Caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos. *Amecider*, 1-20. Obtenido de <http://ru.iiec.unam.mx/3252/1/276-Garcia-Rangel-Garcia.pdf>
- [16] Gutiérrez-Gil, V., Zafra-Mejía, C., & Alarcón-Hincapié, J. (2018). A Preliminary Study to Forecast the Leachate and Biogas Generation in a Municipal Solid Waste Landfill in Latin America. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(19), 14386-14392. Obtenido de <http://www.ripublication.com>
- [17] Krause, M., & Tolaymat, T. (2020). Hydrologic Evaluation of Landfill Performance: HELP 4.0 User Manual. United States Environmental Protection Agency, (January), 47.
- [18] Hernández-Berriel M. A., Aguilar-Virguen Q., Taboada-Gonzalez P., Lima-Morra R., Eljaiek-Urzola M., Márquez-Benavides L., Buerostro-Delgado O. (2016). *Rev. Int. Contam. Ambie.* 32 (Especial Residuos Sólidos) 11-22, 2016. DOI: 10.20937/RICA.2016.32.05.02
- [19] Hernández-Urbe R., Héctor Barrios-Piña, B., Aldo Ramírez, B. I., & para correspondencia Resumen Hernández-Urbe, A. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(3), 5-25. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222017000300005.
- [20] INEGI (2004). Guías para la interpretación de Cartografía Edafología. ISBN 970-13-4376-X
- [21] INEGI (2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Estudio de información integrada de la Cuenca Río Tijuana y otras. INEGI, c2016. ISBN 978-607-739-997-1.
- [22] INEGI (2020). Comunicado de prensa núm 30/21. Censo 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- [23] **López-Lambraño**, A., Fuentes, C., López-Ramos, A., López-L, M., & Pliego-Díaz, M. (2016). Rainfall Series Fractality in the Baja California State. *Environmental Science and Engineering*. Springer, Cham, 139-152. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27965-7>

- [24] Medellín-Azuara, J., Mendoza-Espinosa, L., Pells, C., Lund, J. R., Center for Watershed Sciences, & The Nature Conservancy. (2013). Pre-Feasibility Assessment of a Water Fund for the Ensenada Region Infrastructure and Stakeholder Analyses, (June), 104. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2655.9127>
- [25] Mendoza López, M. H. (2012). Proliferación de tiraderos clandestinos, una práctica para disponer de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Ensenada. Tesis de Maestría COLEF-CICESE.
- [26] Mowjood, M. I. ., Abhayawardan, P., Bandara, M., Hettiarachchi, S., Takahiro, K., Herath, G., ... Kawamoto, K. (2013). Groundwater level fluctuation in an open solid waste dumpsite : A case study in Groundwater level fluctuation in an open solid waste dumpsite : A case study in Udapalatha PS, Central Province , Sri Lanka, (September 2013). <https://doi.org/10.13140/2.1.4831.0407>
- [27] Muthukamara, Kumarasinghe, Mowjood, Nagamori, Isobe, Watanabe, ... Kawamoto. (2015). Estimation of Leachate generation using HELP model in an open dumpsite in Sri Lanka. 3rd International Symposium on Advances in Civil and Environmental Engineering Practices for Sustainable Development (ACEPS-2015), (April)
- [28] NOM-083-SEMARNAT. (2003). Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de octubre de 2004.
- [29] Padilla y Sotelo, L. (2016). Diversificación sectorial y proyección internacional del municipio de Ensenada. *Revista Transporte y Territorio*. Num. 15. Pp. 241-273. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333047931015>
- [30] Podlasek, A. (2022). Modeling leachate generation: practical scenarios for municipal solid waste landfills in Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 13256–13269. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23092-8>
- [31] Rivas-Armenta, M.E., Sierra-Camargo, L.D., Vélez-Pereira, A.M., (2017). Modelación de la producción de metano en el Relleno Sanitario Parque Ambiental Palangana (Santa Marta). *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 18 (02), 183-192. <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2017.18n2.016>
- [32] Rojas Valencia, M.N.yC. Sahagún Aragón. (2012). Tiraderos a cielo abierto, *Ciencia y Desarrollo*. 259. <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/archivo/259/articulos/tiraderos-a-cielo-abierto.html>
- [33] Salles, A., Wolff, D. B., & Silveira, G. L. (2011). Solid wastes drained in an urban river sub-basin. *Urban Water Journal*, (1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.633612>
- [34] Sarmiento López, C. (1996). Modelo preliminar de flujo tridimensional del acuífero de la planicie costera del Valle de Maneadero, B.C., México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 157 hojas.
- [35] Schroeder, P. R., Dozier, T. S., Zappi, P. A., Mcenroe, B. M., Sjostrom, J. W., & Peyton, R. L. (1994). The hydrologic evaluation of landfill performance (Help) model, 104.
- [36] SCS. (1972). Section 4: Hidrology. In *National Engineering Handbook*. Washington DC: Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture.

- [37] SEMARNAT. (2019). Tiraderos a cielo abierto dañan ambiente y salud humana. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/tiraderos-a-cielo-abierto-danan-ambiente-y-salud-humana?idiom=es>
- [38] SEMARNAT. (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos Primera. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [39] Smith S. V., Bullock S. H., Hinojosa-Corona A., Franco -Vizacaino E., Escoto-Rodriguez M., Kretzchmar T. G., Farfan L. M., S.-C. J. M. (2007). Soil erosion and significance for carbon fluxes in a mountainous mediterranean-climate watershed. *Ecological Applications*, 17(5), 1379-1387.
- [40] Susunaga-Miranda, M. A., Ortiz Muñiz, B., Castañeda Chávez, M. del R., Lango Reynoso, F., & Hernández Berriel, M. del C. (2022). Sitios de disposición final de residuos sólidos abandonados en la Región de Sotavento del estado de Veracruz, México, utilizando herramientas SIG. *Enfoque UTE*, 13(4), 11-28. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.853>
- [41] Torres, C., Larios, S., Correa, F., García, J., & Gálvez, A. (2012). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ensenada 2012. Universidad Autónoma Del Estado de Baja California, ISBN: 978-607-607-091-8, ((607-607)). <https://doi.org/DOI10.13140/2.1.4426.3206>

Apendice

Tabla 5. Tiraderos clandestinos de Ensenada reportados por distintos medios de comunicación.

Fotos de tiraderos clandestinos en Ensenada	Fecha	Fuente
	Enero 2022	Fotoperiodista Alejandro Zepeda https://www.facebook.com/alejandrozepedaphotographer/photos/a.149894195631157/967826773837891/
	Diciembre 2021	Agencia fronteriza de noticias https://afntijuana.info/informacion-general/124094_lleñan_de_basura_el_arroyo_ensenada
	Julio de 2021	Zona norte noticias http://zonanorte.mx/main/mozaico/nid/1313
	Enero 2020	Ensenada Sin Censura https://www.facebook.com/EnsenadaSinCensura/posts/ensenada-basurero-clandestino-en-villas-del-robles-meses-sin-pasar-la-basura-en-el/500712203976449/?locale=es_LA
	Agosto 2019	El imparcial https://www.elimparcial.com/tijuana/ensenada/Cobran-hasta-100-pesos-por-llevarse-la-basura-en-Ensenada-20190815-0028.html