



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA
REGIONAL

**LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN ESPACIOS
RURALES DE LA SUBCUENCA HUAQUECHULA**

JHONATAN CAMACHO LÓPEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2022

La presente tesis, titulada: **Los residuos sólidos en espacios rurales de la subcuenca Huaquechula**, realizada por el alumno: **Jhonatan Camacho López**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 

DR. ANGEL BUSTAMANTE GONZÁLEZ

ASESOR: 

DR. BENITO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR: 

DR. SAMUEL VARGAS LÓPEZ

ASESORA: 

DRA. MARÍA ANTONINA GALVÁN FERNÁNDEZ

Puebla, México, junio de 2022

LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN ESPACIOS RURALES DE LA SUBCUENCA HUAQUECHULA

Jhonatan Camacho López, M. C.

Colegio de Postgraduado, 2022

RESUMEN

La generación y adecuada disposición final de los residuos sólidos (RS) en México y en el mundo es un factor potencial de contaminación al ambiente y un riesgo para la salud pública. En general, la atención al tema de los RS es baja y para las zonas rurales prácticamente inexistente. En este estudio se tuvo como objetivo la identificación del nivel de difusión del problema de RS en notas periodísticas y artículos científicos, estimación de la generación de residuos en municipios rurales de la subcuenca Huaquechula y el análisis espacial de la generación de residuos. La información de las notas periodísticas y artículos científicos se obtuvo mediante fichas Resumen Analítico especializado (RAE); se estimó la cantidad de residuos sólidos generados en los espacios rurales de la subcuenca de Huaquechula a través de funciones exponenciales, y se interpretó espacialmente la generación de residuos sólidos en los municipios de la subcuenca de Huaquechula, por medio de la herramienta SIG y enfoque determinístico. Se encontró que las zonas rurales reciben menor atención a nivel nacional que las zonas urbanas y que uno de los mayores problemas es la gestión integral de residuos sólidos. Se estimó una producción actual de residuos sólidos considerablemente alto para las localidades rurales, con una tendencia creciente en los próximos treinta años. La cuantificación actual y proyección de los residuos sólidos generados en las zonas rurales de la subcuenca Huaquechula son necesarias para enfrentar el problema de una creciente generación de residuos sólidos, asociada al crecimiento poblacional, y la localización y gestión de sitios de su disposición final.

Palabras clave: Generación, residuos, rural, sólido.

SOLID WASTE IN RURAL AREAS OF THE HUAQUECHULA SUB-BASIN

Jhonatan Camacho López, M. C.

Colegio de Postgraduado, 2022

ABSTRACT

The generation and suitable final disposal of solid waste (RS) in Mexico and in the world is a potential factor of contamination to the environment and a risk to public health. Generally, attention to the SR issue is low and practically non-existent in rural areas. The objective of this study was to identify the level of diffusion of the RS problem in journalistic notes and scientific articles, estimation of waste generation in rural municipalities of the Huaquechula sub-basin and spatial analysis of waste generation. Information from journalistic notes and scientific articles was obtained through Specialized Analytical Summary (RAE) files; the amount of solid waste generated in the rural areas of the Huaquechula sub-basin was estimated through exponential functions, and the generation of solid waste in the municipalities of the Huaquechula sub-basin was spatially interpreted, through the GIS tool and the approach deterministic. It was found that rural areas receive less attention at the national level than urban areas and that one of the biggest problems is the integrated management of solid waste. A considerably high current production of solid waste was estimated for rural localities, with a growing trend in the next thirty years. The current quantification and projection of the solid waste generated in the rural areas of the Huaquechula sub-basin are necessary to face the problem of an increasing generation of solid waste, associated with population growth, and the location and management of final disposal sites.

Keywords: Generation, waste, rural, solid.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Colegio de Postgraduados Campus Puebla por financiar mis estudios.

A mi consejo particular: Dr. Ángel Bustamante González, Dra. María Antonina Galván Fernández, Dr. Samuel Vargas López y Dr. Benito Ramírez Valverde por destinar su valioso tiempo a mi formación.

En especial al Dr. Ángel Bustamante González y la Dra. María Antonina Galván Fernández por su enorme paciencia y consejos en este camino de la investigación.

Agradezco al grupo de profesores investigadores, que integran el Postgrado en Maestría en ciencias PROEDAR, por la paciencia, dedicación y entrega en cada uno de los cursos que tuve la oportunidad de estar presente.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de Maestría en Ciencias:

Al “Él Hace que Llegue a Ser” que me rescató porque estaba contento conmigo.

A mi familia por su apoyo e impulso de seguir adelante.

A mi gato “Zeus” y mi perro “Jhon” que me ayudaron a sobrellevar esta carga.

A mis amigos y amigas que me animaron en todo momento.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Objetivos	2
Hipótesis	2
CAPÍTULO I LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN MÉXICO: UNA APROXIMACIÓN DESDE LOS MEDIOS PERIODÍSTICOS Y CIENTÍFICOS	3
1.1 Resumen.....	3
1.1 Abstract	4
1.2 Introducción.....	4
1.3 Metodología.....	8
1.4 Resultados.....	10
1.5 Conclusiones.....	15
CAPITULO II GENERACIÓN DE RESIDUOS DE LA POBLACIÓN RURAL EN TRES MUNICIPIOS DE LA SUBCUENCA DE HUAQUECHULA, PUEBLA	17
2.1 Resumen	17
2.1 Abstract	18
2.2 Introducción.....	18
2.3 Metodología.....	21
2.4 Resultados	24
2.5 Discusión.....	31
2.6 Conclusiones.....	33
CAPÍTULO III ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN ESPACIOS RURALES DE LA SUBCUENCA DE HUAQUECHULA, PUEBLA	34
3.1 Resumen.....	34

3.1 Abstract.....	34
3.2 Introducción.....	35
3.3 Metodología.....	39
3.4 Resultados.....	42
3.5 Discusión.....	50
3.6 Conclusiones.....	52
CONCLUSIONES GENERALES.....	53
LITERATURA CITADA.....	54

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I.

Cuadro 1.1. Ficha RAE para captura de la información	9
Cuadro 1.2. Distribución de la información publicada por estado y temas	10
Cuadro 1.3. Temas relacionados con los residuos sólidos abordados en las publicaciones científicas	14

CAPITULO II.

Cuadro 2.1. Población total, rural y urbana para el periodo 1990 a 2020	26
Cuadro 2.2. Población total estimada de los municipios de estudio para el periodo 2025 a 2055	27
Cuadro 2.3. Tasa población rural / población total para el periodo 1990 a 2020.....	27
Cuadro 2.4. Proyección del crecimiento poblacional total, rural y urbano.....	28
Cuadro 2.5. Generación per cápita promedio de los municipios de la subcuenca de Huaquechula	28
Cuadro 2.6. Proyección de la generación de residuos sólidos (Kg) de la población rural de los municipios de estudio	30
Cuadro 2.7. Proyección de la generación de residuos sólidos (Kg) de la población urbana de los municipios de estudio.....	30
Cuadro 2.8. Transportes de carga trasera especializados para RSU	31
Cuadro 2.9. Cantidad de viajes mensuales	31

CAPÍTULO III.

Cuadro 3.1. Funciones población – tiempo de los municipios de estudio.....	43
Cuadro 3.2. Población rural	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 3.3. Municipios evaluados y su población total.....	44

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1. Distribución de notas periodísticas por estado	11
Figura 1.2. Distribución de los estudios sobre residuos sólidos por estado.....	13

CAPITULO II.

Figura 2.1. Crecimiento poblacional de municipios de la subcuenca.....	24
Figura 2.2. Ajuste de la función exponencial para población total y tiempo	25
Figura 2.3. Residuos sólidos (RS) en función de la población total municipal regional	29

CAPÍTULO III.

Figura 3.1. Subcuenca de Huaquechula Puebla.....	40
Figura 3.2. función no lineal.	41
Figura 3.3a. Distribución de la población.	46
Figura 3.3b. Distribución población sin servicio.	47
Figura 3.3c. Disposición de residuos sólidos.	48
Figura 3.4. Sistema vectorial.....	49

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son un problema a nivel mundial. Es una de las principales causas de la contaminación al ambiente y a la salud, debido al aumento y vertimiento de estos en sitios no autorizados y sitios autorizados que incumplen con la normatividad. En México se tiene la misma problemática, la falta de gestiones integrales en los municipios, el aumento de la población y la proliferación de sitios no autorizados, intensifican el volumen de los RSU. Por lo cual, los impactos al suelo, agua, aire y de salud van en incremento por este fenómeno. Los espacios urbanos en su mayoría cuentan con la información y metodologías para hacer frente a los cambios graduales sobre, la generación y composición de residuos sólidos, sin embargo, en las localidades rurales este conocimiento es escaso o nulo, a pesar de que algunos investigadores citados en los presentes artículos, concluyen que estos espacios ya presentan problemas ante la generación y composición de sus residuos, en cambio, las políticas públicas no lo han visualizado como una amenaza grave ¿Por qué?. Por tanto, este estudio se aproxima a una respuesta del por qué los espacios rurales no son tan profundizados en materia de residuos sólidos. Por consiguiente, se examinó el estado de las investigaciones en materia de residuos sólidos urbanos a nivel nacional en bases de datos. Posteriormente, se estimó la cantidad de residuos sólidos en localidades rurales mediante una función exponencial, la cual nos permite acercarnos a la realidad a través de análisis numéricos. Finalmente, se analizó espacialmente la problemática de la generación de los residuos sólidos en los espacios rurales mediante las herramientas de los sistemas de información geográfica (SIG) y enfoque determinístico.

Los municipios que componen la subcuenca de Huaquechula categorizados de rural, mixto y urbano. Algunos cuentan con estudios de generación de residuos sólidos o plan de manejo integral con deficiencias, en cambio los municipios rurales no cuentan con estas herramientas y se ven en la necesidad de implementar sus estrategias en la mayoría de las veces precarias. Por lo tanto, se necesita abordar la siguiente problemática desde un estudio documental, técnico y espacial, para dar una posible respuesta si realmente los residuos sólidos son un problema para los espacios rurales. Por lo anterior, se establecen las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué tan frecuente es abordada la problemática de los residuos sólidos urbanos en el medio rural comparado con el medio urbano en los principales periódicos nacionales y bases de datos de artículos científicos?
2. ¿Cuál es la cantidad total de los residuos sólidos generados por los espacios rurales en la subcuenca de Huaquechula?
3. ¿Cómo se interpreta la problemática de los residuos sólidos en los espacios rurales desde el enfoque espacial?

Objetivos

1. Analizar de forma hemerográfica y bibliográfica el problema de los residuos sólidos urbanos en México.
2. Estimar la cantidad de los residuos sólidos en los espacios rurales de la subcuenca de Huaquechula.
3. Analizar espacialmente la problemática de la generación de los residuos sólidos en los espacios rurales de la subcuenca de Huaquechula.

Hipótesis

1. Las notas periodísticas y artículos científicos abordan más el tema de los residuos sólidos en zonas urbanas que en zonas rurales.
2. La generación de residuos sólidos en espacios rurales es alto.
3. La generación de los residuos sólidos municipales de la subcuenca Huaquechula muestran un patrón espacial definido.

CAPÍTULO I. LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN MÉXICO: UNA APROXIMACIÓN DESDE LOS MEDIOS PERIODÍSTICOS Y CIENTÍFICOS

MUNICIPAL SOLID WASTES IN MEXICO: A PERSPECTIVE FROM THE NEWSPAPERS AND SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Resumen

Objetivo: Explorar qué tanto los principales periódicos y las revistas científicas de México abordan el tema de residuos sólidos municipales.

Método: Se utilizó un método de investigación documental, en el que se hizo una búsqueda en internet de las notas publicadas sobre residuos sólidos municipales en los principales periódicos nacionales, así como de los artículos científicos reportados en ScienceDirect, Redalyc, Scielo y la Revista internacional de contaminación ambiental. La información se capturó con fichas de Resumen Analítico Especializado y en un sistema de información geográfica, para analizar la información espacialmente, por estado y por temática.

Resultados: Se registraron 121 notas sobre residuos sólidos municipales en los principales periódicos de México y 59 artículos publicados en revistas científicas nacionales. La mayoría de las notas periodísticas fueron para la Ciudad de México, estado de Puebla, Estado de México y estado de Jalisco. Las revistas científicas reportaron estudios principalmente para la Ciudad de México, Estado de México, estado de Baja California, estado de Jalisco, estado de Michoacán y estado de Chiapas. Los temas predominantes fueron la inadecuada gestión de los residuos sólidos municipales y el riesgo de contaminación del agua.

Limitaciones: El estudio se limitó a los periódicos de mayor circulación nacional, por lo que se considera que los resultados permiten un análisis exploratorio del tema.

Principales hallazgos: El tema de los residuos sólidos municipales tiene poca difusión en los principales periódicos de México y se reporta un bajo número de estudios sobre el tema en las revistas científicas nacionales.

Palabras clave: Estudios, difusión, periódicos, residuos

Abstract

Purpose: To explore how much the main newspapers and scientific magazines in Mexico address the issue of municipal solid waste.

Method: A documentary research method was used, in which an internet search was made of the articles published on municipal solid waste in the main national newspapers, as well as the scientific articles reported in ScienceDirect, Redalyc, Scielo and the International Journal of environmental pollution. The information was captured with Especialized Analytical Summary formats and in a geographic information system, to analyze the information spatially, by state and by subject.

Results: 121 articles on municipal solid waste published in the main Mexican newspapers and 59 articles published in national scientific journals were registered. Most of the journalistic reports were for Mexico City, the state of Puebla, the Mexico State and the state of Jalisco. Scientific journals reported studies mainly for Mexico City, the Mexico State, the State of Baja California, the State of Jalisco, the State of Michoacán, and the State of Chiapas. The predominant themes were the inadequate management of municipal solid waste and the risk of water contamination.

Limitations: The study was limited to the newspapers with the largest national circulation, so it is considered that the results allow an exploratory analysis of the subject.

Main findings: The issue of municipal solid waste has been little addressed in the main Mexican newspapers and a low number of studies on the subject are reported in national scientific journals.

Keywords: Studies, dissemination, informing, waste

1.2 Introducción

Los residuos sólidos urbanos o municipales que se generan en nuestro país, México, tienen un impacto importante a nivel social, ambiental, político y económico. Particularmente, en los centros urbanos, con una población alta, en donde el problema

de la generación, recolección, transporte y deposición final de los residuos es percibido por la población y atendido en mayor o menor medida por los gobiernos, principalmente municipales. En México, se reporta para las áreas urbanas una producción de residuos sólidos de 39,055 miles de toneladas, con una producción per cápita de 1.250 kg día-1 (Rodríguez y Montesillo, 2017). Para comunidades rurales se ha estimado una producción per cápita ligeramente menor en algunos lugares, de 1.10 kg día-1 (Taboada-González et al., 2013) y de 0.344 kg día-1 a 0.396 kg día-1, para regiones del estado de Guerrero (Nava-Uribe, Juárez-López y Sampedro-Rosas, 2015). La cantidad de residuos sólidos generados por cada localidad municipio o entidad federativa depende de diversos factores. Los cambios de consumo, la nueva ruralidad, la modernización y la globalización producen un cambio en el comportamiento de los individuos e influyen en la generación de desechos. Estos cambios han generado el incremento de desechos sólidos o “basura” (Rejón, 2014).

A la par del aumento de la generación de residuos en México, destaca la limitada cantidad de rellenos sanitarios con que se cuenta (alrededor de 40) y su deficiente operación (Enciso, 2019). El propósito de los rellenos sanitarios es dar tratamiento o eliminar a los residuos sólidos urbanos (basura), para que no afecten al suelo, agua, aire y la salud pública de los habitantes. Sin embargo, el crecimiento demográfico ha ocasionado que los asentamientos humanos estén muy cerca de los sitios establecidos por el gobierno para la deposición final de los residuos sólidos, lo que potencializa el problema (Owusu-Nimo et al., 2019).

Existe una disparidad en la percepción del problema y su atención entre los grandes centros de población y los más pequeños, mayor contrastaste aún entre los centros urbanos y las poblaciones rurales (Friezen-Pankratz, 2011). Así mismo, en general se tiene limitada información sobre los residuos sólidos en México, tanto de carácter de difusión del problema como de investigación científica. La información disponible sobre residuos sólidos se cataloga como residuos sólidos urbanos. El mismo Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) da preferencia en su información a los residuos sólidos urbanos, con limitada información para comunidades rurales.

Los gobiernos municipales, estatales y federales están obligados a realizar acciones para el manejo adecuado de los residuos sólidos, con el fin de evitar los impactos ambientales (protección ambiental) y sobre la salud humana y demás seres vivos. Aunque estos dos motivos han guiado la preocupación del problema de los residuos sólidos municipales, recientemente se han agregado otras preocupaciones, como es la recuperación y reciclado de materiales, el cambio climático y preocupaciones estéticas (Vergara y Tchobanoglous, 2012). Sin embargo, la insuficiente información de la generación y manejo de los residuos sólidos en México es una limitante para la planeación y gestión adecuada de dichos residuos.

Una interrogante en el tema de los residuos sólidos municipales en México es el grado de percepción que los individuos tienen sobre su problemática y la difusión del problema en los medios de comunicación masiva, así como la relevancia que los investigadores le dan. En esto, es de esperarse también una gran asimetría en la difusión del problema de los residuos sólidos municipales y la generación de información estadística y científica entre regiones y entre el medio urbano y el rural. La mayor parte de los medios de comunicación, sean impresos o electrónicos, se ubican en las zonas urbanas o más pobladas de nuestro país, con muy limitada presencia en las zonas rurales, las cuales también tienen el problema de un manejo adecuado de los residuos sólidos municipales (Ugalde, 2007).

El análisis de documentos o método de investigación documental es un método cualitativo, conceptualizado como un procedimiento sistemático para revisar y evaluar documento, tanto impresos como electrónicos, y como cualquier método, requiere examinar e interpretar los datos para obtener su significado, comprender el fenómeno o proceso y desarrollar conocimiento empírico (Bowen, 2009). Los métodos de investigación documental se han usado poco, comparado con los de encuesta y entrevista, a pesar de que pueden ser igual de útiles para explorar fenómenos o procesos (Mogalakwe, 2006). La investigación documental se basa en la revisión y análisis de materiales escritos, en formato impreso o digital, tales como registros estadísticos, publicaciones de instituciones gubernamentales o privadas e imágenes, entre otras. Más

que una recolección de materiales o hechos implica un proceso reflexivo, de acuerdo a un marco teórico y contextual (Ahmed, 2010).

El análisis documental se considera adecuado para la observación de la dinámica de procesos de “individuos, grupos, conceptos, aprendizajes, comportamientos, mentalidades y prácticas, entre otras” (de Andrade et al., 2018). Se tiene antecedentes de análisis de contenidos de los periódicos para revisar la tendencia de cobertura de temas científicos en los Estados Unidos (Pellechia, 1997) y la baja cobertura del tema fue considerada un factor para la falta de conocimiento funcional sobre el tema de muchos individuos. También, se ha utilizado para identificar qué tanto se ha comunicado en los periódicos el tema de la vacuna del virus de papiloma humano (Calloway et al., 2006). Así mismo, se ha aplicado para evaluar la cobertura, en los medios de difusión, de temas de actualidad, como es el cambio climático (Lopera y Moreno, 2014). Otra aplicación se orienta a un análisis general de la cobertura temática de los periódicos, mediante la identificación de la temática principal publicada (Tang, 2012). No se ha utilizado el análisis documental para aproximarse al problema de la información y toma de conciencia del manejo adecuado de los residuos sólidos en México.

Para el análisis documental, una técnica útil para la revisión de documentos y captura de la información es la matriz de Resumen Analítico Especializado (RAE). Esta técnica facilita la sistematización de la información, así como la comprensión e interpretación de ésta (Ortiz Méndez, 2021).

Este estudio se enfoca en la difusión que se otorga a los residuos sólidos urbanos/municipales en notas periodísticas, particularmente en los periódicos de mayor difusión a nivel nacional, así como en el grado de atención que los investigadores dan al tema, reflejado en las publicaciones de artículos científicos, referidas en las principales bases de datos (Google académico, Redalyc, Scielo y Sciencedirect). Esto da idea de la relevancia que el tema tiene para los medios de comunicación y para los investigadores en México. De inicio, se postuló que tanto la difusión como la investigación sobre la problemática de los residuos sólidos municipales es muy limitada en el país.

Metodología

Este estudio fue de corte cualitativo, utilizando como técnica la investigación documental y como instrumento fichas de resumen analítico especializado (RAE). Se hizo una revisión exhaustiva de notas periodísticas y bases de datos de artículos científicos. Para el primer caso, se identificó a los periódicos de mayor circulación a nivel nacional, tomando como referencia el artículo Radiografía de la prensa diaria en México (García, 2013) y comparando la información con la revista Prensa, los cuales mencionan que los periódicos de mayor circulación son: El universal, Milenio, Publímetro, Excelsior, El economista, El informador y el Sol de Puebla. Se realizó la búsqueda en sus bases de datos o páginas de internet de cada periódico, colocando palabras clave en el buscador sobre los temas residuos sólidos urbanos/municipales, para el periodo de 2014 - 2020. La información se recabo en fichas RAE, cuyo objetivo es facilitar la información o sintetizarla, por lo cual se obtuvo el resumen de las notas periodísticas, así como también las principales variables del objetivo de esta fase de estudio. Posteriormente, se depuró la información eliminando aquellas fichas RAE las cuales no eran de interés o no tenían ninguna relación con el objeto de estudio. En total se obtuvieron 121 RAE.

Las bases de datos de los artículos científicos sobre los residuos sólidos en México analizadas fueron: Sciendirect, Redalyc, Scielo y la Revista internacional de contaminación ambiental. Se obtuvieron los artículos relacionados con el tema de residuos sólidos urbanos o municipales a nivel nacional, se eliminaron los artículos científicos que no tenían relación con el objeto de estudio, obteniendo un total de 60 artículos, para el periodo 2004 - 2020. Se analizaron las variables principales para esta base de datos de artículos científicos y se procedió a extraer la información por medio de las fichas RAE para sinterizar la información.

Finalmente, se analizó la información para conocer la difusión que se tiene de los residuos sólidos urbano y municipales en los principales periódicos del país (notas periodísticas) y en las principales bases de datos de artículos científicos. Se analizó también, a través de un sistema de información geográfica, con el programa ArcGis versión 10.5, la ubicación y concentración de la difusión en las notas periodísticas y de los artículos científicos.

Cuadro 1.1. Ficha RAE para captura de la información

Tema												
Autor												
Fuente												
Fecha												
Categoría	E A	CAI	CS	CAA	GA	DP	PS	FEDR	FSRR	CA	GI	RS
Medio	Rural: Urbano:											
Distribución	Estado	Municipio				Localidad				Colonia	C.P.	
Resumen:												
Elaborado por:												

EA = Educación ambiental, CAI = Contaminación del aire, CS = Contaminación del suelo; CAA = Contaminación del agua, GA = Gestión ambiental, DP = Deterioro del paisaje, PS = Problemas de salud, FEDR = Falta de espacios para disposición de recursos, FSRR = Falta de servicio de recolección de residuos; CA = Conocimiento ambiental, GI = Gestión integral RSU, RS = Rellenos sanitarios

Resultados

Difusión en los principales periódicos del país

La difusión del portal de notas periodísticas consultadas en este artículo muestra características interesantes sobre la situación actual del manejo y disposición de los residuos sólidos urbanos/municipales a nivel nacional. Las notas consultadas, como indica el Cuadro 2, el 12.4 % se refiere a zonas rurales y el 87.6 % a zonas urbanas. Muestra que la difusión del problema en zonas rurales es de poco interés, comparado con las zonas urbanas, para estos medios de comunicación.

Cuadro 1.2. Distribución de la información publicada por estado y temas

Periódico	Sede	No. de notas	No. de estados	Urbano	Rural	Temas
El informador	Jalisco	5	1	4	1	GI, CAA, FEDR, PS
Publímetro	Multiestados	4	3	4	0	GI, RS, CAA
El economista	Ciudad de México	9	4	8	1	FEDR, CAA, FEDR
El universal	Ciudad de México	56	14	46	7	GI, CAA, FEDR
Excélsior	Ciudad de México	13	5	15	1	GI, CAA, FEDR
El sol de Puebla	Puebla	21	2	16	5	PS, CAA, GI, FEDR
Milenio	México	13	9	13	0	GI, FEDR

EA = Educación ambiental, CAI = Contaminación del aire, CS = Contaminación del suelo; CAA = Contaminación del agua, GA = Gestión ambiental, DP = Deterioro del paisaje, PS = Problemas de salud, FEDR = Falta de espacios para disposición de recursos, FSRR = Falta de servicio de recolección de residuos; CA = Conocimiento ambiental, GI = Gestión integral RSU, RS = Rellenos sanitarios

La mayoría de la difusión del tema de los residuos sólidos se concentra en los estados del Centro de México (Figura 1). Particularmente, son la Ciudad de México, Estado de México, Puebla y Jalisco donde los medios impresos de mayor circulación nacional han abordado el tema de los residuos sólidos municipales. En cambio, para 10 estados no se registró noticias sobre el tema, dentro de los que destacan Chihuahua, Michoacán, Chiapas, Baja California y Baja California Sur. La distribución de las notas periodísticas se relaciona con la ubicación de la sede del medio impreso (Cuadro 2).

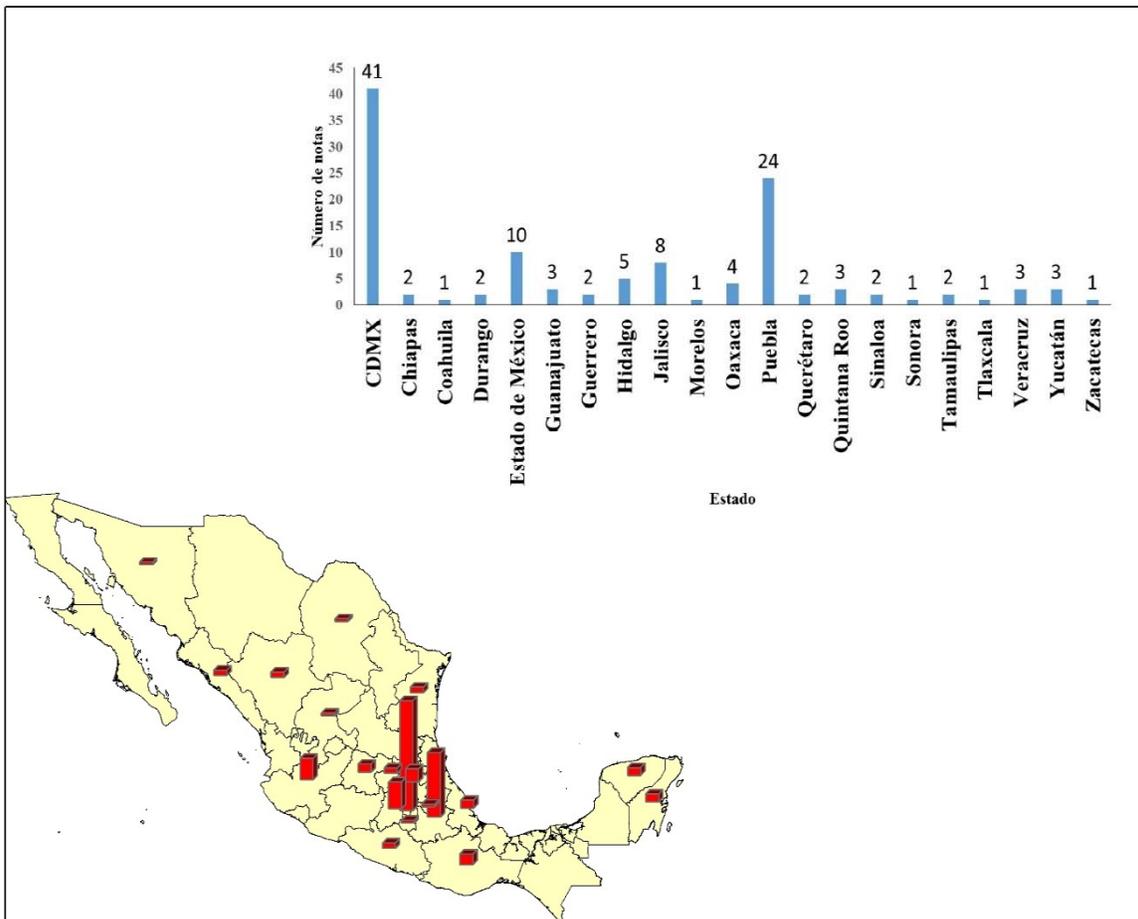


Figura 1.1. Distribución de notas periodísticas por estado

Un tema recurrente en las notas publicadas fue la gestión inadecuada del servicio de recolección de residuos que los municipios ofrecen a la población, con referencia quejas como la mala ruta de recolección y la no recolección de los residuos en los sitios autorizados o en las esquinas de las calles. Esta tendencia, de poner mayor énfasis en

la etapa de recolección convencional y selectiva de residuos, se ha reportado como típica para América Latina (López-Yamunaque e Iannacone, 2021). Otro tema abordado en las notas es la posibilidad de ocurrencia de una serie de eventos negativos, como la exposición y descomposición de los residuos, debido a que la mayoría no son separados, la generación de fauna nociva y daños a la salud pública. Esta preocupación de la sociedad por los problemas de salud asociados a la inadecuada recolección de los residuos sólidos data desde el siglo XIX (Jiménez, 2015).

Poca atención se pone al tema de educación y conocimiento, ni se hace referencia a los saberes que tiene la población sobre los residuos sólidos urbanos/municipales, y como estos son aplicados en las localidades o zonas publicadas. De manera indirecta, se pone atención a la inadecuada conducta de la población, por la baja importancia que se da a la separación de los residuos sólidos en orgánicos e inorgánicos, y a la deposición de los residuos en lugares inadecuados, como son lotes baldíos, barrancas y cuerpos de agua. Se hace mención de que los sitios de deposición no autorizados con el paso del tiempo crecen y aumenta su volumen, con los problemas consecuentes de malos olores, crecimiento de la fauna nociva y animales callejeros, lo cual se vuelve normal para la sociedad. Es notoria la atención dada al tema de residuos sólidos de zonas urbanas y la desatención para las áreas rurales.

En la información reportada por los medios consultados el tema de la inversión pública o privada para la gestión de los residuos sólidos municipales es nula. Situación similar se observa para temas como la preocupación por el impacto del inadecuado manejo de los residuos sólidos sobre la calidad del suelo, del paisaje, la contaminación del aire y la generación de gases de efecto invernadero que inciden en el cambio climático.

Difusión en las bases de datos de información científica

Los estudios sobre residuos sólidos municipales reportados en las revistas científicas nacionales siguen una tendencia similar, con algunas variantes, a la de las notas periodísticas, en la distribución espacial por estados, ya que se concentran en el centro de México. La Ciudad de México, Estado de México, Baja California, Jalisco, Michoacán, Chiapas y San Luis Potosí concentran el mayor número de estudios (Figura 2). Se

observa una marcada relación en el número de estudios con la presencia de los centros de educación e investigación públicos más relevantes, en recursos y matrícula, del país. Por ejemplo, la incidencia del Colegio de la Frontera Norte y del Colegio de la Frontera Sur en los estados de Baja California y de Chiapas, respectivamente.

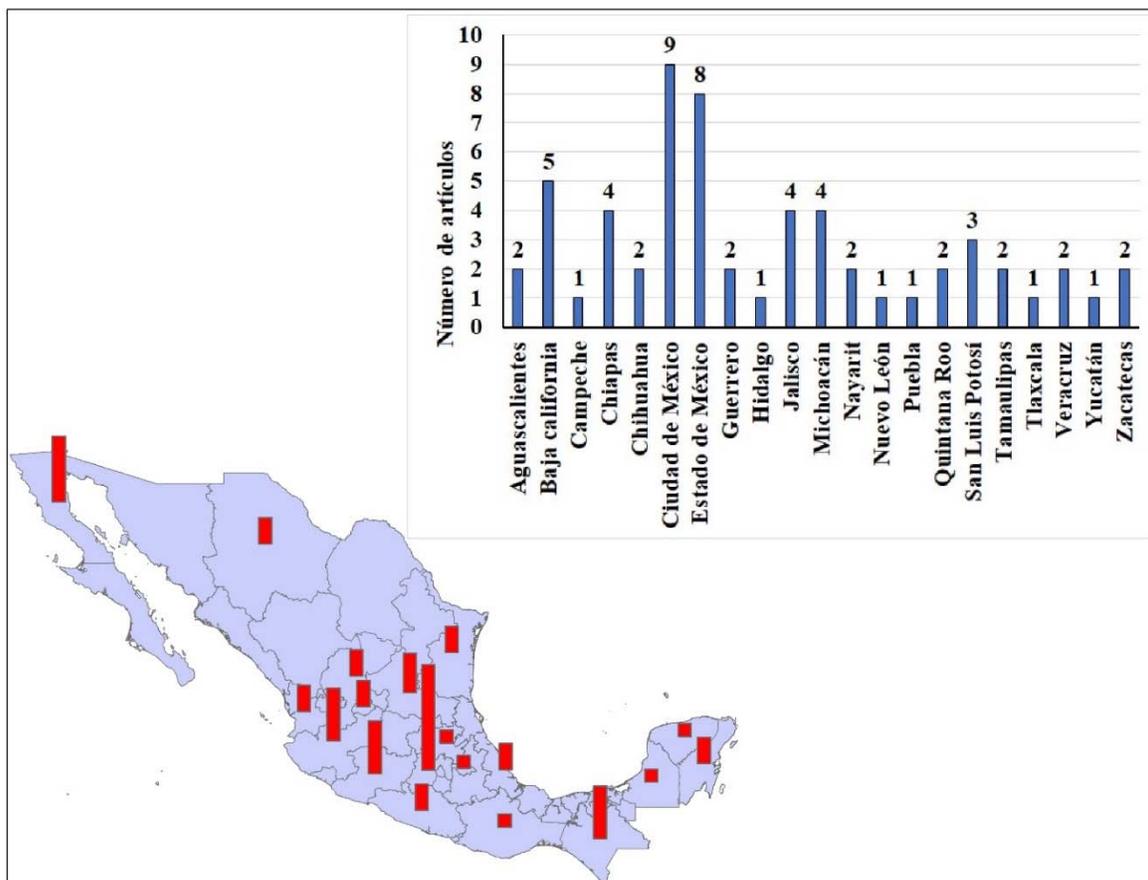


Figura 1.2. Distribución de los estudios sobre residuos sólidos por estado

La temática abordada en las investigaciones reportadas en las publicaciones científicas es más amplia que la encontrada en las notas periodísticas. La mayor atención se ha puesto en los sitios de deposición final (rellenos sanitarios), conocimiento ambiental, contaminación del agua y la gestión integrada de los residuos sólidos (Cuadro 3). Se da una atención mínima a la contaminación del aire, contaminación del suelo, el servicio de recolección de residuos y la disponibilidad de sitios de deposición final. No se encontraron estudios sobre los impactos sobre el deterioro del paisaje y problemas de salud. Aunque predomina la atención del problema de los residuos sólidos en áreas urbanas, a diferencia de la difusión del tema en los periódicos, se encontraron estudios

locales sobre los residuos sólidos para comunidades rurales. Por ejemplo, Taboada-González et al. (2013) presentan un estudio sobre el manejo, generación y potencial de aprovechamiento de los residuos sólidos de una comunidad rural de Baja California, México, con una estimación de generación diaria de 1.10 kg por habitante y nula recuperación de materiales en el sitio de disposición, ya que éstos son quemados. También, se aborda la generación de metano y su importancia en el efecto invernadero, y se considera que el paso de un tiradero a cielo abierto a un relleno sanitario estricto aumenta la emisión de metano (Zolórzano, 2003).

Cuadro 1.3. Temas relacionados con los residuos sólidos abordados en las publicaciones científicas

Tema	Número de artículos
Educación ambiental	9
Contaminación del aire	2
Contaminación del suelo	1
Contaminación del agua	8
Gestión ambiental	11
Deterioro del paisaje	0
Problemas de salud	0
Falta de espacios para deposición de residuos	3
Falta de servicio de recolección de residuos	1
Conocimiento ambiental	8
Gestión integral RSU	7
Rellenos Sanitarios	9

Se considera que los medios de comunicación, como son los periódicos, tienen un papel fundamental en la comunicación efectiva de situaciones de riesgo, y que contribuyen a crear conciencia en la población sobre temas ambientales y en la gestión ambiental adecuada (Wakefield y Elliott, 2003). Sin embargo, en este estudio se encontró una baja cobertura del tema de los residuos sólidos municipales en los periódicos revisados, lo

que contrasta con el hecho de que los centros urbanos medios y grandes, aunque cuentan con un sistema de recolección generalmente, enfrentan cada día problemas para ubicar sitios para su deposición final. Mientras que en los centros de población rural, la mayoría de las veces no tienen sistemas de recolección y depositan los residuos en lugares inapropiados (basureros) o los incineran, cuando es posible (Jiménez, 2015).

Aunque no se identificó estudios sobre la cobertura de los periódicos sobre el problema de producción, recolección y deposición de residuos sólidos, es posible comparar la atención dada al tema con la cobertura para otros temas en el ámbito nacional e internacional. Temas como la contaminación por polvo se reporta para Irán (Mojadam et al., 2018), con un número importante (143 artículos publicados, de 510 periódicos revisados); sobresaliendo el hecho de que fueron los periódicos locales los que dieron mayor cobertura al tema que los de circulación nacional. En el presente estudio no se consideró la cobertura del tema revisado en periódicos locales, por lo que es posible que se pueda dar más importancia al problema de los residuos sólidos en los medios locales. También, se ha documentado que los periódicos ponen mayor atención a temas más sensibles, como la contaminación del aire (Bhalla, O'Boyle y Haun, 2019; John, 2020; Ramondt y Ramirez, 2020).

La cobertura de los residuos sólidos municipales, urbanos y rurales, es diversa. Se registraron publicaciones sobre producción per cápita diaria de residuos, planes de gestión integral de residuos, riesgos de contaminación, manejo local de residuos y caracterización de residuos, entre otros. Sin embargo, el número de estudios registrado es bajo aún, comparado con los realizados para otros temas ambientales de actualidad.

Conclusiones

La difusión de información sobre los residuos sólidos municipales es baja, tanto en los principales periódicos como en las revistas científicas de México. Aunado a ello, se observa una marcada concentración de la información en los estados del centro del país, así como una tendencia a poner mayor atención en las poblaciones urbanas medianas y grandes, con limitada información de las localidades rurales. Como consecuencia, se considera que el aporte de estos medios de comunicación en la toma de conciencia de

la sociedad sobre el problema de la gestión inadecuada de los residuos sólidos municipales o domésticos es mínimo.

En las localidades rurales la información proporcionada es limitada. Esto da indicio a investigaciones futuras donde se responda la interrogativa ¿Por qué estos espacios rurales son poco estudiados en materia de residuos sólidos? O ¿realmente los residuos sólidos generados en los espacios rurales representan un problema para los gobiernos municipales? Para poder comprender las dinámicas que suceden en estos espacios.

CAPITULO II. GENERACIÓN DE RESIDUOS DE LA POBLACIÓN RURAL EN TRES MUNICIPIOS DE LA SUBCUENCA DE HUAQUECHULA, PUEBLA

WASTE GENERATION BY THE RURAL POPULATION IN THREE MUNICIPALITIES OF THE HUAQUECHULA SUB-BASIN, PUEBLA

Resumen

Objetivo: Estimar cuantos residuos sólidos son generados en localidades rurales de la subcuenca Huaquechula.

Método: Se aplicó un método de análisis para la determinación de las tasas de disposición de residuos sólidos, a partir de datos poblacionales reportados por INEGI en el estado de Puebla. Dado que no existe información detallada para sus zonas rurales, se aborda desde la minería de datos, para generar proyecciones de poblaciones y de residuos sólidos, y así determinar en qué tiempo una localidad rural producirá un volumen de residuos suficiente para considerarse dentro de los parámetros de los sistemas urbanos.

Resultados: Se obtuvo que el crecimiento poblacional en los municipios analizados tiene como efecto el incremento en la generación de los residuos. Las bases de datos obtenidas no tienen la segregación de la cantidad de personas en localidades rurales. La proyección obtenida por medio de un análisis numérico indica que los municipios analizados la cantidad de generación de residuos sólidos per cápita es considerable en estos sitios.

Principales hallazgos: La información sobre de la cantidad de residuos sólidos urbanos en localidades rurales es escasa, con limitaciones metodológicas y de bases de datos e información. El volumen de residuos sólidos urbanos generados en las localidades rurales de la subcuenca Huaquechula representa un problema para los municipios.

Palabras clave: Generación, localidades rurales, municipios, residuos sólidos

Abstract

Purpose: Estimate the amount of solid urban waste in rural localities of Huaquechula sub-basin

Method: An analysis method was applied to determine solid waste disposal rates, based on population data reported by INEGI in the state of Puebla. Since there is no detailed information for its rural areas, it is approached from data mining, to generate population and solid waste projections, and thus determine in what time a rural locality will produce a sufficient volume of waste to be considered within the parameters of urban systems.

Results: It was obtained that the population growth in the analyzed municipalities has the effect of increasing the generation of waste. The databases obtained do not have the segregation of the number of people in rural localities. The projection obtained through a numerical analysis indicates that in the municipalities analyzed the amount of solid waste generation per capita is considerable in these sites.

Main findings: Information on the amount of urban solid waste in rural localities is scarce, with methodological and database and information limitations. The volume of urban solid waste generated in the rural localities of the Huaquechula sub-basin represents a problem for the municipalities.

Keywords: Generation, rural localities, municipalities, solid waste

Introducción

El paradigma actual de desarrollo se expresa como el crecimiento poblacional más el crecimiento en el consumo, porque incrementan el flujo de dinero entre los actores sociales. Sin embargo, el consumo se incentiva en los centros poblacionales, dado que en las grandes concentraciones es donde a) hay mayor capacidad de compra, b) los costos de comercialización son menores (traslado, punto de venta, volumen de venta) y c) los tiempos de venta son menores. Todo esto es determinante de la estrategia de oferta de productos. En contraparte, las zonas rurales presentan una dispersión que afecta todos estos aspectos de la comercialización, haciendo poco atractivo el comercio en esta zona; esta misma situación condiciona el levantamiento de información

poblacional por parte de las instituciones gubernamentales, en particular es aplicable a la medición que realiza INEGI.

La emisión de residuos sólidos es la expresión directa del consumo que realiza cada individuo, el consumo a su vez está ligado con el crecimiento económico, bajo el paradigma actual de desarrollo, su emisión de residuos sería un indicador de consumo-crecimiento económico, pero es indicador negativo.

El número de estudios sobre residuos sólidos en las localidades rurales de México es escaso en comparación con lo urbano. En el ámbito urbano se concentra la mayor información. Esta ausencia se explica debido a la alta dispersión de localidades: tenemos que el 23.83% de localidades rurales en el país son menores a 2500 habitantes, y el 76.17% tienen entre 2500 y 5000 habitantes; en contraparte en las localidades urbanas se concentra el 43% de la población total en 5 grandes ciudades: Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla y Querétaro con sus respectivas zonas urbanas (INEGI, 2021).

El desempeño gubernamental respecto a la prestación de servicios y la ausencia de esos servicios, limitan la generación de los datos. Taboada y coautores (2011) realizan una comparación entre los estudios de residuos sólidos realizados en zonas urbanas y en zonas rurales, dando como resultado que las localidades pequeñas carecen de información y la concentración de información la tienen las grandes urbes. Pero a pesar de la falta de información, se estima que el sector rural representa el 11% de la generación de residuos sólidos municipales. Es complicado obtener información sobre el desarrollo de dichas comunidades. (Omendi, 2012).

El desarrollo de comunicaciones ha facilitado el ingreso de estas localidades dispersas a la globalización, a través de sistemas de comercio virtuales, modificando la percepción de bienestar y con ello sus hábitos de consumo. Castañeda y Pérez (2015) mencionan que los estudios de generación de residuos sólidos tomaron relevancia a medida que la población y los cambios de consumo se modificaron e incrementaron.

Se define como residuo sólido a los objetos y materiales que, tras cumplir con su vida útil, carecen de valor económico para su poseedor; esto genera el mayor volumen de

desechos, dado que es un fenómeno perceptivo: el individuo considera al objeto inútil y lo desecha, sin importar si realmente ha cumplido con su vida útil, entonces el mayor volumen proviene del consumo “ciudadano”. Esta definición condiciona fuertemente el concepto de desecho en las comunidades rurales; en estos espacios socioeconómicos, el ciclo de vida de los productos y/o materiales es más extendido, por una parte, debido a los ingresos menores respecto a los espacios urbanos, que obliga a que el poblador sopesa más una compra-desecho, y porque la adquisición de un objeto-bien representa una inversión que debe ser explotada al máximo, y por ende, los procesos de reuso y reciclado son mayores que en el ámbito urbano.

La gestión de los residuos sólidos es responsabilidad de los municipios, y es de los principales problemas que enfrenta el gobierno mexicano, por la falta de infraestructura municipal y la alta dispersión de las localidades rurales; esto provoca que no todos los residuos sean recolectados, y de la porción que se recolecta, una fracción menor recibe un tratamiento adecuado, incluso en las zonas urbanas (Taboada et al., 2013).

En México para 2011 se estimaba que se generaban entre 750 y 1500 g de basura por habitante por día, lo que produce casi 40 millones de ton/año (SEMARNAT, 2013). Respecto al manejo de esos residuos, los depósitos autorizados cada vez son menos porque han cumplido su tiempo de vida útil y se encuentran cerca o inmersos en las poblaciones, debido al crecimiento de los núcleos urbanos, dificultando su disposición final.

La mayor concentración poblacional se encuentra en las áreas urbanas (Pérez, 2012), entonces los estudios de generación de residuos sólidos se concentran en esas localidades, sin embargo, conforme transcurren los años la mayoría de las comunidades rurales que se encuentran cercanas a las ciudades, realizan la transición a comunidades urbanas o son absorbidas por las ciudades. Esta tendencia de las comunidades rurales hacia lo urbano no solo es en lo poblacional, también en la generación de basura, como lo concluye Araiza et al. (2017). El mal manejo de los residuos provoca que dicho crecimiento se vuelva un problema de carácter económico-ambiental, por tanto, es prioritario se atienda la problemática desde la fase rural, para evitar que en un futuro cercano se rebase las capacidades municipales.

Castro y Pérez (2016) y (Pérez, 2015) señalan las acciones y estrategias que se deben realizar respecto a los residuos sólidos, enmarcados en las políticas públicas locales y federales, en quienes recaen la responsabilidad y toma de decisiones y, por tanto, responsables de la salud ambiental de las comunidades rurales.

Debido a la falta de información obtenida por medición directa, los estudios realizados para la generación de estos, en comunidades rurales tienden a equipararla con los centros urbanos en la generación per cápita, clasificación y composición. En algunos casos puede presentarse esta homogeneización, sobre todo, en las localidades conurbadas, pero en las localidades dispersas no, como lo demuestra Castillo et al. (2014), quien hace énfasis en el incremento y cambios en la composición de los residuos y la importancia de actualizar los estudios de generación. También, Ramírez y García (2011) mencionan que la obtención de información relacionada con los residuos, tal como su composición y clasificación deben ser periódicas y actualizadas en los dos espacios, dado que en las zonas urbanas la información puede considerarse abundante, pero con deficiencias metodológicas y en algunos casos obsoletas dado que se realizan por una única vez, mientras que en las zonas rurales en la mayoría de los casos es inexistente.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es proponer una metodología para estimar el volumen total de los residuos sólidos en las comunidades rurales, a partir de datos censales existentes, como una aproximación inicial al abordaje del problema.

Metodología

La zona de estudio

La subcuenca Huaquechula se localiza en la parte suroccidental del estado de Puebla, entre las coordenadas 18°31'13", 98°17'00" y 19°06'00", 98°37'43". compuesta por los municipios: Acteopan, Atlixco, Atzala, Atzizihuacan, Cohecan, Calpan, Epatlán, Huaquechula, Izúcar de Matamoros, San Diego la Mesa Tochimiltzingo, San Nicolás de los Ranchos, San Jerónimo Tecuanipa, Santa Isabel Cholula, San Martín Totoltepec, Nealtican, Ocoyucan, Tepemaxalco, Tepeojuma, Tepexco, Tianguismanalco, Tilapa, Tlapanalá, Tochimilco y Xochiltepec; presentan una diversidad socio económica desde lo rural hasta lo urbano alto. Dentro de esta diversidad regional hay localidades desde

menores a 2,500 habitantes, hasta mayores a 75,000 habitantes; muchas de ellas están inmersas en municipios que se consideran mayoritariamente urbanos, y aún más, están conurbadas con localidades mucho más grandes generando desigualdades muy fuertes en cuanto a los servicios que reciben.

Los municipios de la subcuenca Huaquechula cuentan con una población de 414,735 habitantes, de los cuales el 33.70% son económicamente activos (PEA). La actividad económica preponderante son las actividades primarias como la agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca con un promedio de 41.74%, seguido de las actividades secundarias y terciarias con el 58.26%. Estas características le confieren rasgos de zona urbana, sin embargo, cuentan con localidades menores a los 10,000 habitantes, mostrando presencia de espacios rurales, añadiendo que muchas de estas localidades se encuentran conurbadas a centros poblacionales como Atlixco e Izúcar de Matamoros.

Los municipios de esta subcuenca presentan falta de información específica y actualizada sobre el manejo de sus residuos, carecen de estudios recientes sobre el tema, falta de infraestructura y recursos humanos para atender el tema.

Análisis de la tendencia de población de los municipios de la subcuenca Huaquechula

Se realizó el análisis de la tendencia gráfica y correlacional de la población de los municipios de Atlixco, Atzizihuacan, Izúcar de Matamoros, Ocoyucan, Nealtican, San Nicolás de los Ranchos y Tianguismanalco, con el fin de comparar el comportamiento demográfico de municipios predominantemente urbanos, rurales y semiurbanos. Se utilizó información de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015 (Disponibles en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>).

Estimación de la proyección de la población total

Se obtuvo la información de población total de los municipios de la cuenca Huaquechula, del estado de Puebla, de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>). Se analizó la

tendencia de la población total de los municipios de Atlixco, Izúcar de Matamoros, Ocoyucan, Nealtican, Atzizihuacan, Tianguismanalco y San Nicolás de los Ranchos, con base en los registros de los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015. Para ello, se utilizó la siguiente función:

$$Y = ae^x$$

Con la función obtenida se estimó la población total para los años 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050 y 2055.

Estimación de la población rural

Se seleccionó un municipio con una población total mayor de 50000 habitantes (Izúcar de Matamoros) y dos con una población total menor de 20000 habitantes (Tianguismanalco y San Nicolás de los Ranchos) para estimar su población rural, como base para calcular la producción de residuos de la población rural del municipio. Debido a que no se tiene datos directos de la población rural, ésta se obtuvo sumando la población de las localidades de cada municipio con población menor a 2500 habitantes. Para estimar la confiabilidad de las estimaciones, se comparó la población rural estimada para el año 2020 con la estimación rural obtenida para este año con datos de población total y urbana de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanas para los tres municipios de estudio, calculada como la diferencia entre la población total y urbana.

Estimación de la tasa de disposición de residuos

El promedio de las tasas de crecimiento poblacional rural obtenidas se tomó como la población proyectada, con respecto a la población total, para los próximos años. Se tomó como base el estudio Programa de Prevención Integral de Residuos del estado de Puebla (2011) para obtener las tasas de disposición a nivel municipal para los tres municipios, La tasa de disposición de residuos se relacionó con la población total, aplicando una función del tipo:

$$f(x) = a * pob^b [2]$$

Con la función obtenida se estimó la disposición de residuos sólidos municipales para la población rural de los municipios de estudio y su proyección futura.

Resultados

Tendencia poblacional histórica

En la subcuenca Huaquechula, los municipios de Atlixco e Izúcar de Matamoros concentran la mayor población (Figura 2.1), predominantemente urbana, aunque el municipio de Izúcar de Matamoros tiene varias localidades rurales. Nealtican, Tianguismanalco y San Nicolás de los Ranchos concentran el menor número de habitantes y tienen localidades predominantemente rurales.

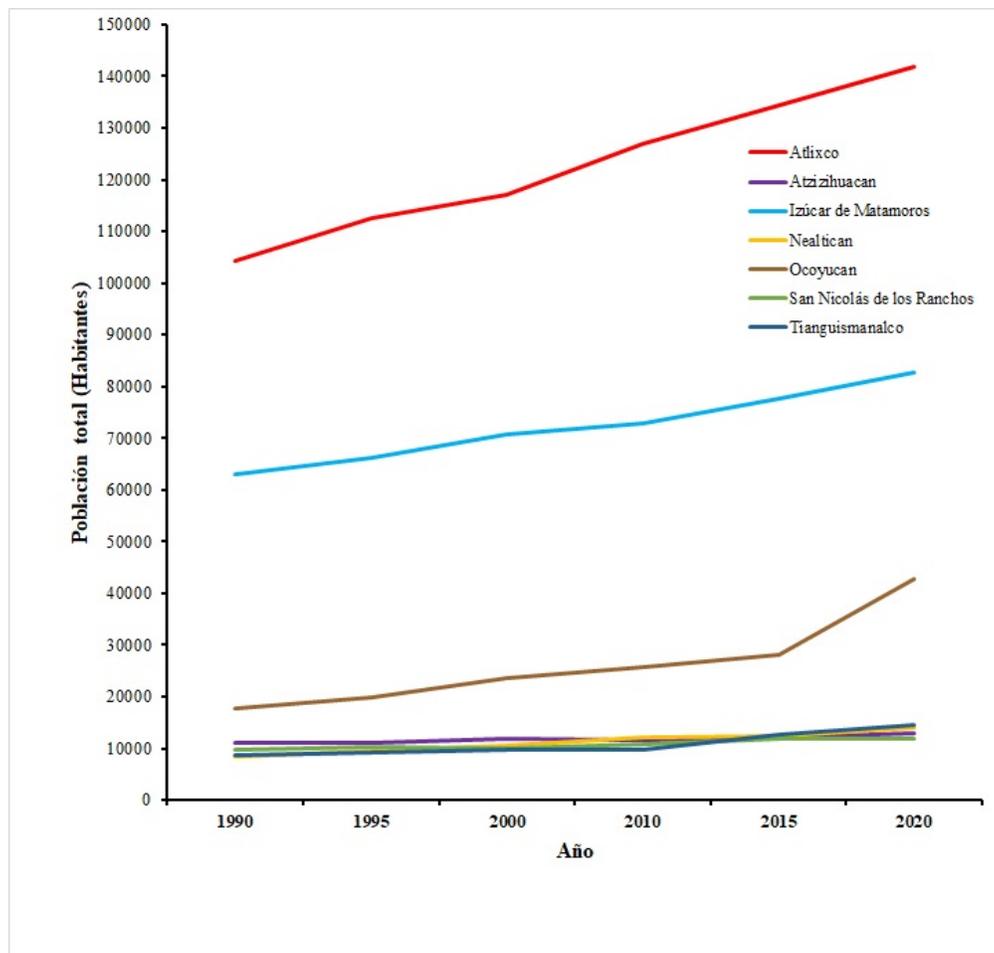


Figura 2.1. Crecimiento poblacional de municipios de la subcuenca

Fuente: Elaboración propia a partir de censos e inter-censos INEGI

Ajuste de funciones exponenciales población en función del tiempo

Para los municipios de Atlixco, Izúcar de Matamoros, Ocoyucan y Nealtican el modelo exponencial que relaciona a la población total con el tiempo tuvo un buen ajuste (R^2 mayor a 0.9) (Figura 2.2). Para los municipios de Atzizihuacan y San Nicolás de los Ranchos el ajuste del modelo fue aceptable (R^2 de 0.87 u 0.89, respectivamente). Se considera que los modelos obtenidos pueden usarse para predecir la tendencia de crecimiento de la población total en los municipios de la subcuenca.

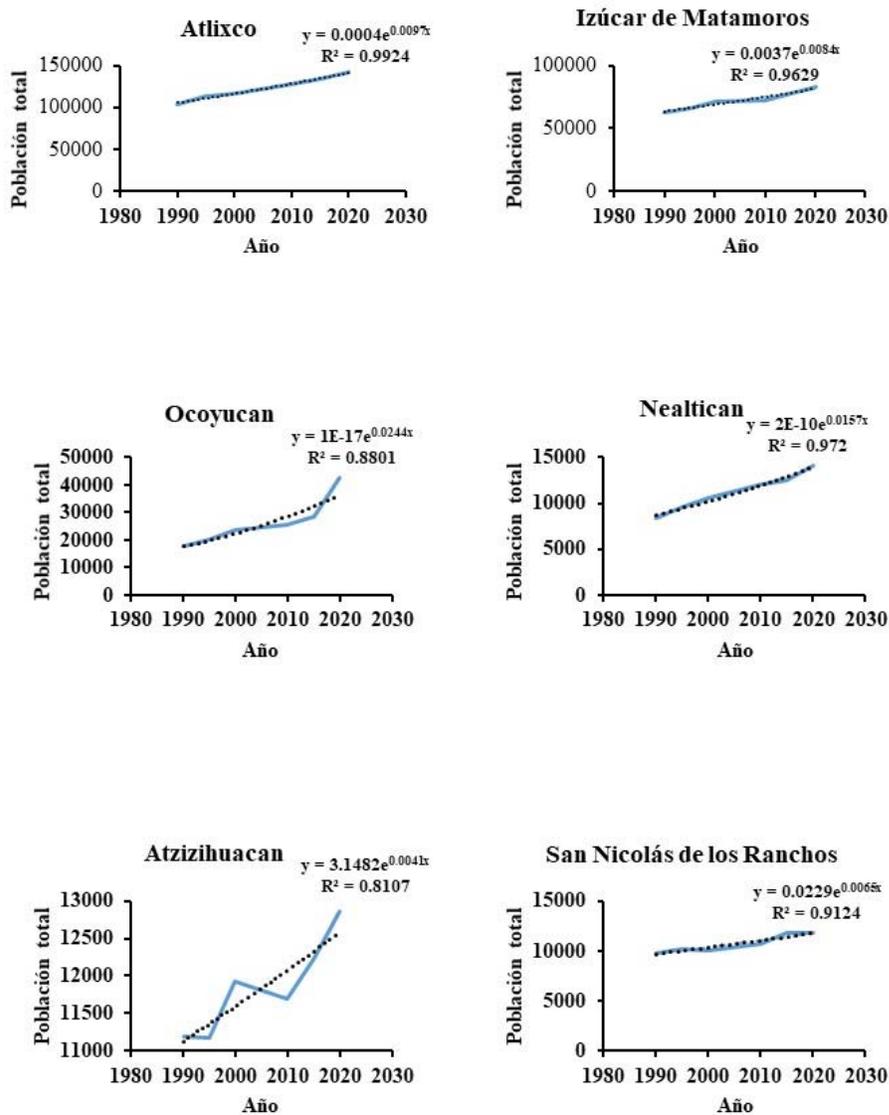


Figura 2.2. Ajuste de la función exponencial para población total y tiempo

Fuente: Elaboración propia a partir de censos INEGI 1990,1995,2000,2005,2010,2015,2020.

Población total, rural y urbana de los municipios de estudio

La estructura de la población en los tres municipios de estudio muestra una diferenciación en cuanto a la población rural y urbana (Cuadro 2.1). El municipio de Izúcar de Matamoros muestra una mayor población urbana (79.5 % de la población total), en San Nicolás de los Ranchos el 75.8 % de la población total es urbana, mientras que en Tianguismanalco solo el 50.3 % de la población total es urbana.

Cuadro 2.1. Población total, rural y urbana para el periodo 1990 a 2020

Año	Izúcar de Matamoros			Tianguismanalco			San Nicolás de los Ranchos		
	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana
1990	62894	17457	45437	8593	4065	4528	9800	2968	6832
1995	66182	15540	50642	9122	4346	4776	10173	2593	7580
2000	70739	13957	56782	9640	4759	4881	10009	2469	7540
2005	69413	15205	54208	9689	4518	5171	9749	2127	7622
2010	72799	10912	61887	9807	4620	5187	10777	2398	8379
2020	82809	12707	70102	14432	8650	5782	11780	2414	9366

Población total futura estimada y proyección del crecimiento de la población rural de los municipios seleccionados

La proyección futura de la población total muestra tendencia diferente para los municipios de estudio (Cuadro 2.2). Para Tianguismanalco se proyecta una tasa de crecimiento anual del 8%, para Izúcar de Matamoros la tasa estimada es del 4 % y para San Nicolás de los Ranchos la tasa estimada es del 4 %.

Cuadro 2.2. Población total estimada de los municipios de estudio para el periodo 2025 a 2055

Año	Municipios (habitantes)		
	Izúcar de Matamoros	Tianguismanalco	San Nicolás de los Ranchos
2025	90,272	14,424	11,919
2030	94,144	15,633	12,313
2035	98,182	16,944	12,719
2040	102,393	18,364	13,140
2045	106,786	19,903	13,574
2050	111,366	21,572	14,022
2055	116,143	23,380	14,485

Con base en las funciones exponenciales

El crecimiento de la población rural proyectado es mayor para el municipio de Tianguismanalco; en segundo lugar, está San Nicolás de los Ranchos y en último lugar Izúcar de Matamoros (Cuadros 2.3 y 2.4).

Cuadro 2.3. Tasa población rural / población total para el periodo 1990 a 2020

Año	Municipio		
	Izúcar de Matamoros	Tianguismanalco	San Nicolás de los Ranchos
1990	0.28	0.47	0.30
1995	0.23	0.48	0.25
2000	0.20	0.49	0.25
2005	0.22	0.47	0.22
2010	0.15	0.47	0.22
2020	0.15	0.60	0.20
Promedio	0.21	0.50	0.24

Cuadro 2.4. Proyección del crecimiento poblacional total, rural y urbano

Año	Izúcar de Matamoros			Tianguismanalco			San Nicolás de los Ranchos		
	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana
2025	90272	18536.7	71735.3	14424	7163.73	7260.27	11919	2767.27	9151.73
2030	94144	19331.9	74812.1	15633	7764.25	7868.75	12313	2858.68	9454.32
2035	98182	20161.1	78020.9	16944	8415.12	8528.88	12719	2953.12	9765.88
2040	102393	21025.9	81367.1	18364	9120.55	9243.45	13140	3050.67	10089.33
2045	106786	21927.8	84858.2	19903	9885.12	10017.88	13574	3151.44	10422.56
2050	111366	22868.4	88497.6	21572	10713.8	10858.22	14022	3255.55	10766.45
2055	116143	23849.3	92293.7	23380	11611.9	11768.1	14485	3363.09	11121.91

Estimación de la generación de residuos

La generación de residuos sólidos per cápita diaria reportada para los municipios de la cuenca varían de 0.347 a 0.674 kg/persona/día). Para los tres municipios de estudio se reportan valores de 0.384, 0.486 y 0.657 kg/día/persona (para San Nicolás de los ranchos, Tianguismanalco e Izúcar de Matamoros, respectivamente). La función ajustada para la generación de residuos sólidos per cápita diaria con el número total de la población tuvo un ajuste aceptable (Figura 2.2).

Cuadro 2.5. Generación per cápita promedio de los municipios de la subcuenca de Huaquechula

Municipio	Generación de RSU*	Población Total
Tochimilco	0.347	1728
Tolopeca	0.359	6510
San Nicolás de los Ranchos	0.384	9749
Tianguismanalco	0.486	9807
Nealtican	0.484	10513
Atzizihuacan	0.646	11684
Izúcar de Matamoros	0.657	72799
Atlixco	0.657	127062
Ocoyucan	0.674	25720

*Kg/hab/día. **Fuente:** Elaboración propia a partir de Programa de Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Puebla 2011.

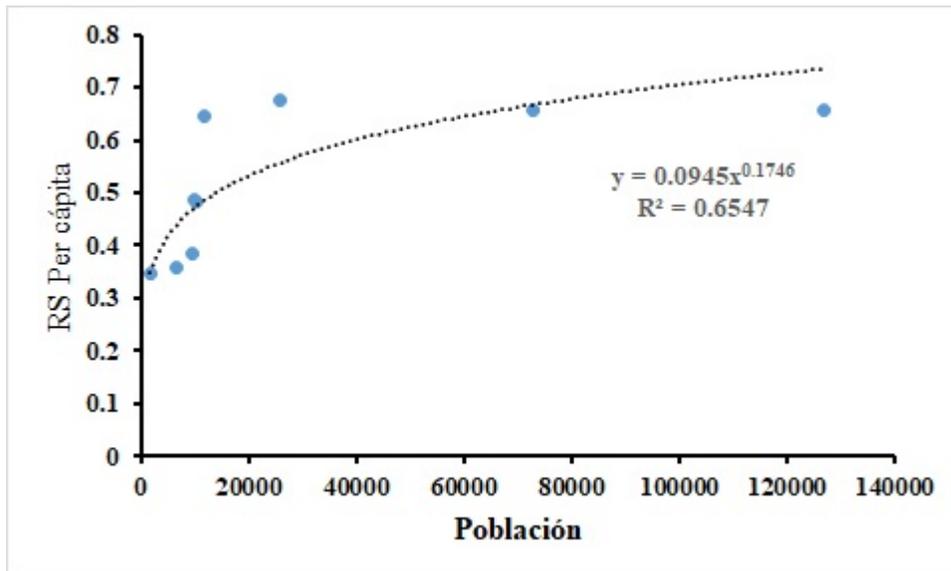


Figura 2.3. Residuos sólidos (RS) en función de la población total municipal regional

Fuente: Elaboración propia a partir de Programa de Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Puebla 2011.

El municipio de Izúcar de Matamoros, a pesar de que tiene un porcentaje menor de población rural, con relación a la población total, su población rural es mayor que la de Tianguismanalco y San Nicolás de los Rancho, lo se me refleja en la cantidad de producción de residuos sólidos diarios (Cuadros 2.6 y 2.7). En términos relativos, para Tianguismanalco el 49.6 % de su producción de residuos sólidos proviene de la población rural; para San Nicolás de los ranchos es el 20.7 % y para Izúcar de Matamoros el 16.9 %.

Cuadro 2.6. Proyección de la generación de residuos sólidos (Kg) de la población rural de los municipios de estudio

Año	Izúcar de Matamoros			Tianguismanalco			San Nicolás de los Ranchos		
	Diario	Mensual	Anual	Diario	Mensual	Anual	Diario	Mensual	Anual
2025	9,742	292,270	3,507,245	3,189	95,675	1,148,102	1,043	31,303	375,637
2030	10,235	307,051	3,684,608	3,505	105,163	1,261,960	1,084	32,521	390,254
2035	10,753	322,578	3,870,939	3,853	115,592	1,387,108	1,126	33,787	405,439
2040	11,296	338,891	4,066,694	4,235	127,056	1,524,668	1,170	35,101	421,216
2045	11,868	356,029	4,272,348	4,655	139,656	1,675,869	1,216	36,467	437,607
2050	12,468	374,034	4,488,402	5,117	153,505	1,842,065	1,263	37,886	454,635
2055	13,098	392,949	4,715,382	5,624	168,728	2,024,742	1,312	39,360	472,326

Cuadro 2.7. Proyección de la generación de residuos sólidos (Kg) de la población urbana de los municipios de estudio.

Año	Izúcar de Matamoros			Tianguismanalco			San Nicolás de los Ranchos		
	Diario	Mensual	Anual	Diario	Mensual	Anual	Diario	Mensual	Anual
2025	47,750	1,432,496	17,189,954	3,240	97,192	1,166,299	3,998	119,930	1,439,158
2030	50,165	1,504,938	18,059,255	3,561	106,830	1,281,961	4,153	124,597	1,495,159
2035	52,701	1,581,043	18,972,518	3,914	117,424	1,409,093	4,315	129,445	1,553,339
2040	55,367	1,660,997	19,931,965	4,302	129,069	1,548,833	4,483	134,482	1,613,784
2045	58,166	1,744,994	20,939,931	4,729	141,869	1,702,430	4,657	139,715	1,676,580
2050	61,108	1,833,239	21,998,871	5,198	155,938	1,871,260	4,838	145,152	1,741,820
2055	64,198	1,925,947	23,111,361	5,713	171,403	2,056,833	5,027	150,800	1,809,599

Estimación de requerimientos de transporte

Las capacidades de transporte de carga de residuos sólidos más comunes son 6 m³, 10 m³ y 12 m³. Por el tamaño de la población de los municipios rurales de la subcuenca, éstos requieren transportes de 6 m² (Cuadro 2.8).

Cuadro 2.8. Transportes de carga trasera especializados para RSU

Capacidad (m3)	Capacidad (hab)	Cantidad de RSU
6	4000-9000	6750
10	6000-11000	8250
12	8000-12000	9000

Se proyecta una producción creciente de residuos sólidos de la población rural de los municipios de estudio (Cuadro 2.9). Se estima que, a partir del año 2025, el municipio de Tianguismanalco debe planear un crecimiento promedio en su capacidad de transporte de residuos sólidos de la población rural en un 9.9 %; Izúcar de Matamoros en un 5 % y San Nicolás de los Ranchos en un 3.9 %.

Cuadro 2.9. Cantidad de viajes mensuales estimados para el transporte de los residuos sólidos generados

año	Izúcar de Matamoros		Tianguismanalco		San Nicolás de los Ranchos	
	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
2020	27.79	154.92	17.69	9.02	3.95	19.42
2025	43.30	159.17	14.17	11.78	4.64	17.77
2030	45.49	167.22	15.58	12.95	4.82	18.46
2035	47.79	175.67	17.12	14.23	5.01	19.18
2040	50.21	184.56	18.82	15.64	5.20	19.92
2045	52.75	193.89	20.69	17.20	5.40	20.70
2050	55.41	203.69	22.74	18.90	5.61	21.50
2055	58.21	213.99	25.00	20.78	5.83	22.34

Con base en un transporte de capacidad de carga de 6 m3

Discusión

La población total, y sus tendencia histórica y proyectada, de los municipios de la subcuenca Huaquechula es diferente para cada uno. En los municipios con mayor actividades secundarias y terciarias, como son Atlixco e Izúcar de Matamoros, se

concentra la mayor población de la subcuenca. Un caso particular es el municipio de Ocoyucan, en el que se observa una tasa de crecimiento poblacional alta, la cual se aceleró a partir del año 2015. En este caso, este crecimiento se explica porque en el municipio de Ocoyucan ha aumentado la presión del sector inmobiliario para el desarrollo de unidades habitacionales (Nuñez, 2022), más aún porque es vecino del Desarrollo Territorial Angelópolis. En los demás municipios de la subcuenca la población total es menor, lo que corresponde a sus características de una proporción de población rural alta, con relación a la población total.

Ante la falta de datos estadísticos para estimar la producción de residuos de la población rural, con el fin de la gestión adecuada de los mismos, ya que el sector rural ha sido olvidado en este tema, los resultados de este estudio muestran que es factible lograr un acercamiento en el conocimiento de la dimensión del problema del manejo de residuos sólidos de las comunidades rurales, mediante estimaciones indirectas. Las funciones exponenciales del crecimiento poblacional total con el tiempo tienen un buen ajuste para los municipios de la subcuenca, lo que permite proyectar la tendencia de crecimiento poblacional total de los municipios para años futuros. La posibilidad de ajuste de modelos no lineales de la población con la variable tiempo ha sido documentada en México (Azuz y Rivera, 2007; Argote-Cusi, 2018). Una vez estimada la población total, se tiene la limitación de información de la población rural municipal, ya que en el municipio se registra información tanto de localidades rurales como urbanas. Para la subcuenca Huaquechula fue factible estimar la población rural agregando a la población de las comunidades menores de 2050 habitantes, información requerida para estimar a su vez la producción de residuos sólidos municipales per cápita.

Los resultados del estudio muestran que la producción de residuos sólidos de este sector de la población, tema altamente ignorado en la gestión de las instituciones gubernamentales, es relevante. Si bien los resultados coinciden con estudios que indican que las zonas rurales producen menos residuos sólidos que las zonas urbanas (Castañeda y Pérez, 2015), la producción de residuos sólidos generados por la población rural es relevante en la subcuenca Huaquechula.

En cuanto a la necesidad de transporte de las comunidades rurales para la recolección, traslado y deposición adecuada de los residuos sólidos, los resultados obtenidos muestran que en la gestión municipal se deben programar recursos para ello, ya que se tiene un requerimiento actual importante y, debido a la tendencia de crecimiento poblacional, seguirá aumentando en los años futuros.

Conclusiones

En la subcuenca Huaquechula la producción de residuos sólidos por las comunidades rurales es relevante y se requiere considerar incorporar el tema en la planeación y gestión ambiental de los municipios de la subcuenca. En el futuro, se proyecta una tendencia de crecimiento alto de la población rural y una creciente necesidad de infraestructura para la recolección, traslado y deposición final de los residuos sólidos de estas comunidades.

CAPÍTULO III. ANALISIS ESPACIAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN ESPACIOS RURALES DE LA SUBCUENCA DE HUAQUECHULA, PUEBLA

CHAPTER III. SPATIAL ANALYSIS OF URBAN SOLID WASTE IN RURAL AREAS OF THE HUAQUECHULA SUB-BASIN, PUEBLA

Resumen

Objetivo: Analizar espacialmente la problemática de la generación de los residuos sólidos en los espacios rurales de la subcuenca de Huaquechula.

Método: Se realizó una interpretación de la problemática de residuos sólidos desde el enfoque espacial y determinista. 1) un análisis espacial a través de sistemas de información geográfica (SIG), ocupando como base del análisis los censos y anuarios reportados en INEGI y AGEB. 2) desde los sistemas dinámicos se interpretó la distribución espacial representada con una serie de funciones diferenciales.

Resultados: Se observó una dispersión muy alta entre municipios, lo que significa que los espacios entre ellos son rurales. La falta de servicio de recolección de residuos sólidos si está relacionada con la población. La disposición de residuos en los espacios rurales es inestable, es decir, no presenta un modelo definido.

Limitaciones: El estudio se limitó a los municipios de la subcuenca de Huaquechula.

Principales hallazgos: Los espacios rurales se pueden abordar desde un modelo diferencial sustentado en variables de espacio y densidad de población

Palabras clave: Análisis espacial, función diferencial, residuos sólidos, sistema dinámico.

Abstract

Purpose: To spatially analyze the problem of solid waste generation in rural areas of the Huaquechula sub-basin.

Method: An interpretation of the solid waste problem was carried out from the spatial and deterministic approach, through a spatial analysis through geographic information

systems (GIS), using the censuses and yearbooks reported in INEGI as the basis of the analysis and solving the complex function with partial derivatives.

Results: A very high dispersion was observed between municipalities, which means that the spaces between them are rural. The lack of solid waste collection service is related to the population. Waste disposal in rural areas is unstable, that is, it does not present a defined model.

Limitations: The study was limited to the municipalities of the Huaquechula sub-basin.

Main findings: The rural sites can be approached from a differential model based on the variables of space and population density

Keywords: Spatial analysis, differential function, solid residues, dynamic system.

Introducción

La preocupación por el medio ambiente se ha incrementado en las últimas décadas a nivel mundial, debido a los problemas ambientales que aumentan la contaminación del aire, agua, suelo y salud pública. Uno de los problemas asociados a la contaminación es la generación de residuos sólidos (Ramos, 2016).

En México la problemática de la generación de residuos sólidos es latente y de igual manera preocupante. Uno de los mecanismos de mitigación y manejo más socorrido, son los rellenos sanitarios y sitios de deposición autorizados; su objetivo es concentrar en un punto los desechos de las comunidades, con la finalidad de controlar los impactos ambientales que se generan, como son las emanaciones, fauna no deseada, lixiviados, entre otros (Caballero et al. 2011).

Los residuos sólidos son una problemática que en la mayoría de los municipios rurales y urbanos supera la capacidad de manejo. Caballero et al. (2011) señalan que conforme incrementa la población, estos sitios necesitan de ajustes y adecuaciones tecnológicas para atender al crecimiento de la población, ajustes que normalmente no se realizan.

El manejo de residuos sólidos en las zonas rurales no está del todo investigado. Los espacios rurales no se han estudiado debido a la falta de información, ausencia de

sistemas de recolección, ausencia de programas de traslado, falta de sitios de disposición y la alta dispersión poblacional provoca que los costos de atención sean tan altos y más difíciles de atender de acuerdo con Araiza y Zambrano (2015) y Taboada et al. (2013).

Los espacios rurales tienen características propias que los determinan tales como; población, nivel educativo, ingresos, comercio, demanda de alimentos, agua y energía, tipo de vivienda, espacios de esparcimiento, entre otros. Por lo cual, es necesario conocer su comportamiento espacial de los municipios urbanos de baja densidad y localidades rurales por que el volumen de generación de residuos es considerable, como lo señala Araiza et al. (2017).

Las agendas de trabajo de los gobiernos municipales tienen el compromiso con el ambiente respecto a la reducción, mitigación, recolección y tratamiento de los residuos sólidos. Los resultados alcanzados no son favorables e inclusive llegan al fracaso, al no comprender a fondo los componentes y las interrelaciones del sistema como: la forma en que crece una comunidad urbana, la relación con los espacios circundantes y como esos espacios responden al cambio de condiciones geográficas (Galván et al., 2020).

Betanzo et al. (2016) y Castañeda y Pérez (2015) se han valido de la herramienta sistema de información geográfica (SIG) para analizar la distribución de la disposición, el sistema de recolección, la ubicación de posibles rellenos sanitarios, entre otras funciones. Por lo tanto, esta herramienta tiene el alcance de proyectar el comportamiento de los municipios que componen la subcuenca de Huaquechula con sus interacciones: tamaño de población y cantidad de residuos.

Por todo lo anterior, los espacios rurales representan un reto para las políticas públicas en general, donde uno de los puntos más urgentes de atender es el desecho de residuales, por lo tanto, es muy importante entender la complejidad de los espacios rurales respecto a la generación de residuos sólidos, dada la falta de programas de manejo integral (Castañeda y Pérez, 2015) y la alta tasa de generación (Araiza et al., 2017; Castillo y De Medina, 2014). El medio principal de mitigación, los “Rellenos sanitarios”, son cada vez menos, porque han cumplido su tiempo de vida útil, dejan de

operar o se encuentran cerca o inmersos en las poblaciones, debido al crecimiento de la mancha urbana (León et al, 2015).

El objetivo de este estudio es analizar espacialmente la problemática de la generación de los residuos sólidos en los espacios rurales de la subcuenca de Huaquechula estado de Puebla. Desde el supuesto, que el problema residual en espacios rurales es por ausencia de modelos específicos. Para interpretar la complejidad se propuso estudiarlo como un sistema dinámico desde el enfoque determinista.

Marco Teórico

El interés por el tema de la disposición de los residuos sólidos municipales ha aumentado debido al incremento de la población, cambios en el hábito de consumo, falta de sitios de deposición, entre otras variables. Esta diversidad de variables le confiere al tema de los residuos sólidos el carácter de complejo.

El concepto de los sistemas complejos se refiere a “la representación de un conjunto de situaciones, fenómenos y procesos de una totalidad” (García, 2006), la cual explica una parte de la realidad, integrando al análisis todos los fenómenos y procesos que ocurren al interior del sistema. Esto significa que el modelo conceptual resultante es no lineal, es multidireccional y multiparamétrico. En el campo multidisciplinar, este tipo de análisis es adecuado para entender las relaciones causa-efecto de fenómenos con muchas variables, además de los cambios causados por perturbaciones del sistema.

Los sistemas complejos han sido estudiados desde enfoques descriptivos. Los cuales consisten en la explicación o descripción del fenómeno de estudio con sus interrelaciones o elementos del sistema (Fontanelli et al., 2019). Segrado et al. (2010) analizaron el sistema productivo del municipio Benito Juárez a diferentes escalas (local, nacional e internacional), describiendo el comportamiento de las interrelaciones del turismo y los subsistemas económicos.

Otra manera de abordar la realidad de los sistemas complejos, son los sistemas dinámicos. Los sistemas dinámicos tienen por objeto el estudio de múltiples variables interrelacionados que cambian en el tiempo o/y el espacio del proceso o fenómeno. Estos

sistemas pueden ser lineales o no lineales. El primero se refiere al comportamiento regular o simple de las variables. El segundo indica el comportamiento irregular o impredecible de las variables (Kalmar y Stanciulescu, 2014; Juarez y Navarro, 2013)

De lo anterior, se extrae que los sistemas dinámicos determinan la evolución o transición del sistema de su estado inicial a otro lapso de interés, es decir, predicen su comportamiento en el futuro. Una posible representación del comportamiento real del sistema son los modelos matemáticos mediante funciones o ecuaciones matemáticas que representan el proceso o fenómeno a estudiar. Por lo tanto, el enfoque determinista permite modelar y expresar matemáticamente el comportamiento de un sistema dinámico (Pinazo, 2006; Carrasco y Vivanco, 2011)

Siguiendo este enfoque, Boccara, (2010), Rosen (1987) y Lanzas y Chen (2015), expresan el comportamiento del fenómeno como una función diferencial $f(z) = \dot{z} = \frac{dx}{dz}$. Donde la función de z representa al sistema y \dot{z} es el campo del vector (dirección, sentido y magnitud del sistema) y la diferencial representa el comportamiento del sistema. La resolución de las funciones diferenciales es la estimación numérica de las variables independientes en el tiempo o/y espacio. En otros términos, es la comparación de las variables a partir de las unidades de cambio $\frac{\Delta x}{\Delta z} = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}$

La derivada de una función es la razón de cambio con relación a la modificación de la variable independiente respecto a la variable dependiente. Esta herramienta matemática es útil para el enfoque determinista, el cual evalúa el cambio.

Este enfoque determinista se ha utilizado en el comportamiento humano y social, activación e inhibición biológica, crecimiento bacteriológico, epidemiología, estudio de las emociones, redes neuronales, entre otros. Para predecir o interpretar su comportamiento en el futuro del resultado de la derivada (Anflor et al., 2015; Sánchez et al., 2011; Pintado y Pérez, 2004)

Los espacios rurales presentan características demográficas, geográficas, políticas, económicas y sociales. Estas relaciones articuladas dentro de los espacios rurales les otorgan propiedades que la constituyen como un sistema dinámico. Los espacios rurales

tienen componentes individuales que interactúan y se modifican con el tiempo, generando estrés a estas comunidades, resultando una de ellas la disposición de residuos sólidos (Galván et al., 2020).

El problema de los residuos sólidos tanto en el ámbito rural como urbano presentan fenómenos y dinámicas complejas. Esto representa un reto para estudiarlas desde enfoques integrales. Debido a las múltiples variables que se construyen a raíz del proceso o fenómeno (Toledo, 2020).

Derivado de lo anterior, la problemática de los residuos sólidos se puede indagar desde la proximidad de los sistemas dinámicos. Debido al comportamiento que presentan los municipios con respecto a la disposición de residuos sólidos en el tiempo.

La disposición de los residuos sólidos depende directamente de la población, porque estos residuos sólidos son generados principalmente de las actividades humanas. La siguiente variable considerada es la tipificación municipal ya sea rural, urbano o mixto. Por último, se considera el tiempo como variable, por las mediciones registradas en censos, lo que muestra el ascenso y descenso de la población. Por lo anterior se propone estudiar el fenómeno de la problemática de los residuos sólidos como un sistema dinámico adoptando el enfoque determinista.

Materiales y métodos

La subcuenca de Huaquechula del estado de Puebla se localiza en la parte suroccidental del estado, entre las coordenadas $18^{\circ}31'13''$, $98^{\circ}17'00''$ y $19^{\circ}06'00''$, $98^{\circ}37'43''$. compuesta por los municipios: Acteopan, Atlixco, Atzala, Atzizihuacan, Cohecan, Calpan, Epatlán, Huaquechula, Izúcar de Matamoros, San Diego la Mesa Tochimiltzingo, San Nicolás de los Ranchos, San Jerónimo Tecuanipa, Santa Isabel Cholula, San Martín Totoltepec, Nealtican, Ocoyucan, Tepemaxalco, Tepeojuma, Tepexco, Tianguismanalco, Tilapa, Tlapanalá, Tochimilco y Xochiltepec (Figura 3.1).

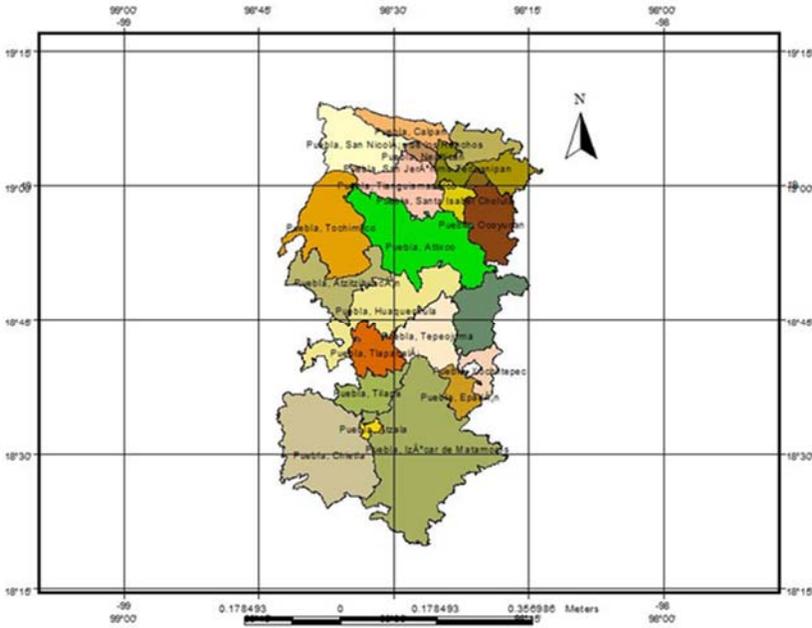


Figura 3.1. Subcuenca de Huaquechula Puebla.

El enfoque utilizado para esta investigación fue espacial y determinista. Se realizó un análisis espacial a través de (SIG), usando como base el análisis de información de Censos y Anuarios Estatales reportados en INEGI (1995, 2000, 2010, 2015, 2020). Se realizó la proyección poblacional con una función exponencial, mientras que para fines de este artículo se ocupó la derivada [1] para la proyección poblacional.

La metodología propuesta con el uso de la derivada se realizó lo siguiente: se aplicó de manera directa la derivada [1] en los censos reportados en INEGI (1995, 2000, 2010, 2015, 2020). Se conoce que los censos se realizan cada cinco años, por tanto, se procedió a obtener un promedio de las derivadas en los censos reportados y multiplicarlas por cada año de proyección. Finalmente, el resultado de la operación se le suma la población total del último censo reportado (2020).

Para el análisis espacial se utilizó la totalidad de los municipios que constituyen la cuenca (23 municipios) y su categorización de acuerdo con INEGI. La información se obtuvo a nivel Área Geográfica Estadística Básica (AGEB), en dos clasificaciones, rural y urbana.

La tercera clasificación “periurbana” se obtuvo de la metodología propuesta por INEGI, evaluando el tipo de vivienda, nivel educativo y densidad poblacional.

Se realizó una interpretación de la problemática de los residuos sólidos desde un enfoque determinista, partiendo del sistema dinámico. Estos sistemas se representan con una función, como se muestra en la Figura 2. Esta función modela el comportamiento real del fenómeno, por tanto, para predecir su evolución en el tiempo se realiza una comparación de variables entre x y $g(x)$, esta relación da como resultado la tasa de cambio representada como $G'(x)$, es decir, la derivada. Esta transición se presenta con la disposición de residuos sólidos de la subcuenca de Huaquechula. Por su condición no lineal debido a las características propias de cada municipio.

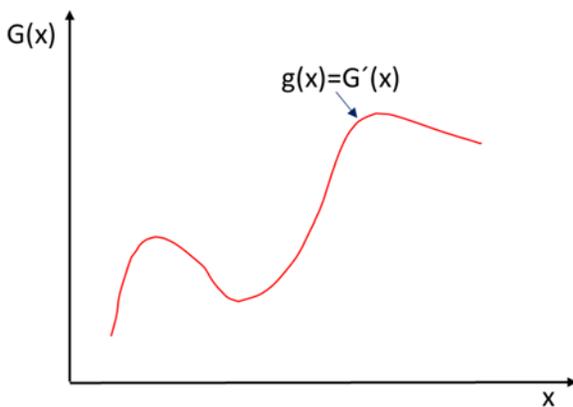


Figura 3.2. función no lineal.

Los sistemas dinámicos estudian el comportamiento de las interrelaciones de las variables del fenómeno prediciendo un cambio en el tiempo o espacio. De lo anterior, se calculó la derivada [1], que genera como resultado la tasa de cambio en el tiempo. Esto nos permitirá puntualizar el comportamiento de la disposición de los residuos sólidos de cada municipio.

$$\frac{\Delta x}{\Delta z} = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} \quad [1]$$

La subcuenca de Huaquechula está compuesta por municipios urbanos, rurales y mixtos. Esta característica heterogénea indica que no pueden ser iguales en cuanto a generación de residuos. Esto confirma que cada municipio tiene su propia función de crecimiento de población. Por lo tanto, se tiene una serie de municipios urbanos que año con año tiene

un crecimiento mayor y esto se traduce en expansión de territorio, por lo cual, se ven en la necesidad de absorber municipios o localidades aledañas.

La problemática de los residuos sólidos se puede expresar como una serie de funciones diferenciales, considerando la ecuación [1] la derivada, la cual es aplicable para los 23 municipios. Se obtiene la relación de funciones con sus variables derivables, en otras palabras, la ecuación diferencial. Para el abordaje de la resolución de la ecuación diferencial para este estudio se propuso desde el cálculo vectorial con derivadas parciales.

El cálculo vectorial es un enfoque matemático para representar y resolver ecuaciones diferenciales. Primero se representó por medio de un sistema vectorial la función diferencial, que cumple con las características de los vectores: dirección, longitud y sentido.

Posteriormente, se realizó el cálculo de la derivada parcial. La derivada parcial es el límite de la función de varias variables. Por lo cual, se determinaron las derivadas parciales ∂ mediante el fenómeno de crecimiento, debido a que cada municipio o localidad se comporta de manera independiente, y contemplando que se encuentran en el mismo espacio, donde se produce el cambio. La ecuación 2 representa estas derivadas parciales donde ∂L es el espacio (distancia) y ∂g es la disposición del municipio.

$$\Delta Z(g(x, q)) = \left[\frac{\partial g_1}{\partial L}, \frac{\partial g_2}{\partial L}, \frac{\partial g_3}{\partial L}, \frac{\partial g_4}{\partial L}, \frac{\partial g_5}{\partial L} \right] \quad [2]$$

Resultados

El Cuadro 3.2 se presentan las funciones que relacionan el crecimiento de la población en el tiempo de los municipios de estudio. En el Cuadro 3.2 se reporta la población rural estimada.

Cuadro 3.1. Funciones población – tiempo de los municipios de estudio.

Municipio	Función	Coefficiente Correlación	Tipificación
Atlixco	$F(Pob) = 0.0004 \exp^{0.0097 t}$	0.9924	Urbana
Izúcar	$F(Pob) = 0.0037 \exp^{0.0084 t}$	0.9629	Urbana
Ocoyucan	$F(Pob) = 1 \times 10^{-17} \exp^{0.0244 t}$	0.8801	Periurbana
Nealtican	$F(pob) = 6 \times 10^{-101} t^{31.577}$	0.9723	Rural-urbana
Tianguismanalco	$F(pob) = 6 \times 10^{-103} t^{32.169}$	0.851	Rural-Urbana
San Nicolás	$F(Pob) = 0.0229 \exp^{0.0065 t}$	0.9124	Rural
Atzitzihuacan	$F(pob) = 45905 \ln(t) - 337493$	0.31115	En transición

Fuente: Elaboración propia a partir de censos e inter-censos INEGI

Cuadro 3.2 Población rural

Año	Municipios		
	Izúcar de Matamoros	Tianguismanalco	San Nicolás de los Ranchos
2025	4.01	7.54	5.96
2030	3.71	6.77	5.91
2035	3.61	5.53	5.77
2040	3.70	3.87	5.54
2045	3.95	1.81	5.23
2050	4.37	0.62	4.84
2055	5.30	10.45	11.59

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 3.3 se muestran los 23 municipios de la subcuenca de Huaquechula seleccionados para el análisis espacial y la observación total del espacio. También señala la categorización; urbano, rural y mixto, el nombre y el total de población de cada municipio de acuerdo con el INEGI.

Cuadro 3.3. Municipios evaluados y su población total.

Clave Municipal	Nombre	Población	Tipo
19	Atlixco	32394	Urbano
21	Atzala	1512	Rural
22	Atzizihuacan	5613	Periurbano
26	Calpan	1628	Rural
51	Chietla	14866	Mixto
62	Epatlán	2720	Rural
69	Huaquechula	15173	Mixto
85	Izúcar de Matamoros	12707	Urbano
102	Nealtican	832	Rural
106	Ocoyucan	9304	Periurbano
119	San Andrés Cholula	152680	Urbano
121	San Diego la Meza Tochimiltzingo	1270	Rural
126	San Jerónimo Tecuanipan	2046	Rural
133	San Martín Totoltepec	692	Rural
138	San Nicolás de los Ranchos	2414	Rural
148	Santa Isabel Cholula	832	Rural
166	Tepeojuma	3771	Rural
175	Tianguismanalco	8650	Mixto
176	Tilapa	6616	Periurbano
185	Tlapanalá	7188	Periurbano
188	Tochmilco	9912	Mixto
201	Xochiltepec	3375	Rural

Fuente: Elaboración propia a partir de censos e inter-censos INEGI

De la información obtenida a nivel de Área Geográfica Estadística Básica (AGEB), se presenta la distribución espacial con los atributos: población, disposición de residuos, y la falta de servicio de limpia para intereses de este estudio. En la Figura 3a se muestra la concentración de población, en las que predominan los tres centros urbanos más grandes de la subcuenca de Huaquechula: Atlixco, Izúcar de Matamoros y Cholula. Los municipios y localidades que se encuentran cerca de estos centros urbanos tienen distintos comportamientos, tal es el caso de las localidades cercanas a Cholula que

superan los 6000 habitantes hasta espacios donde cuentan únicamente con 1000 habitantes. En contraste con las localidades cercanas a Izúcar de Matamoros menores a 500 habitantes y la máxima 4000 habitantes.

En la Figura 3b se observan las localidades que no cuentan con servicio. El comportamiento indica que la mayor parte de las localidades de la subcuenca de Huaquechula se encuentra en un rango aceptable, excepto por localidades cercanas al municipio de Cholula que presentan un rango alto de habitantes sin servicio, al igual que las localidades dispersas de Xochitepec.

En la Figura 3c se aprecia la disposición de residuos en los municipios de la subcuenca de Huaquechula. Los municipios urbanos como Atlixco, Cholula e Izúcar de Matamoros muestran un rango de disposición de valor medio a alto, en cambio los municipios y localidades rurales como: San Nicolás de los Ranchos, Chietla, Huaquechula y Atzizihuacan, muestran un rango disperso con valor de bajo a nulo y valores de medio a alto.

Los municipios y espacios rurales muestran diferentes patrones de disposición, debido a la dispersión y resistencia que caracteriza a estas localidades. Esto representa un reto para las políticas públicas en cuanto al manejo integral de residuos sólidos.

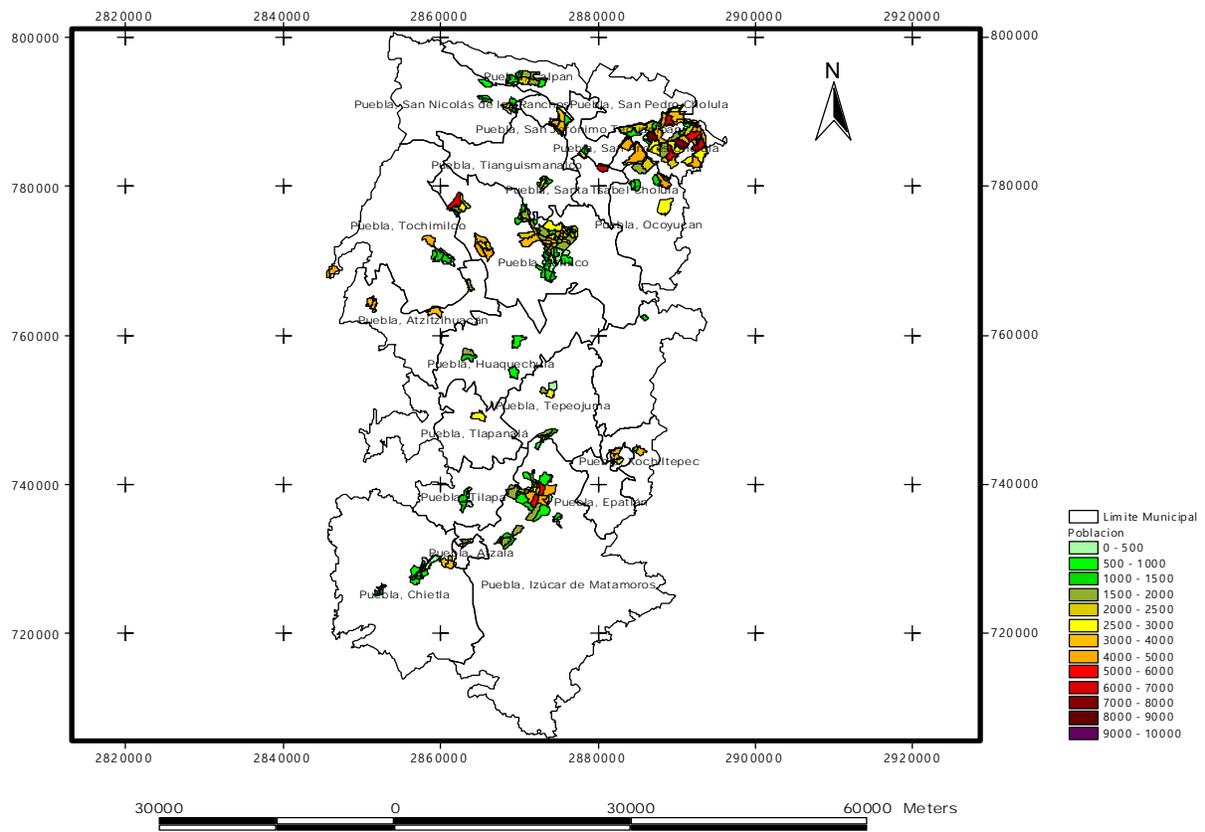


Figura 3.3a. Distribución de la población en los municipios de la subcuenca Huaquechula.

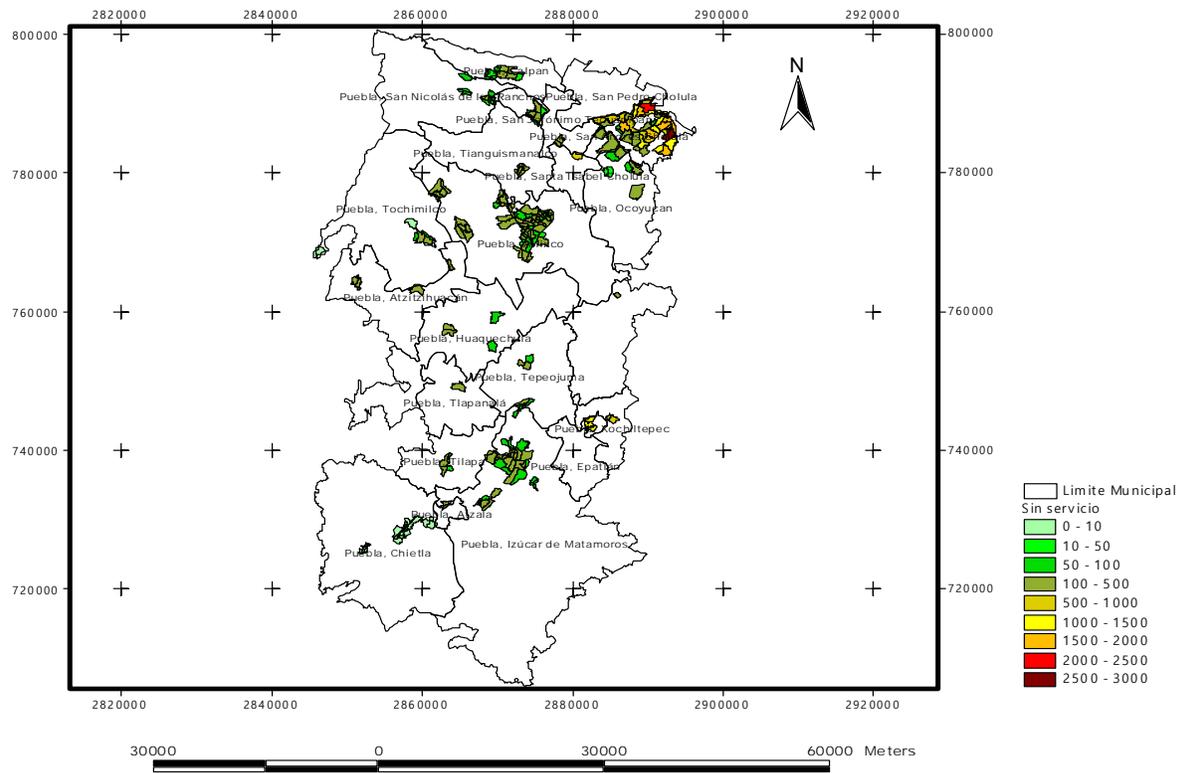


Figura 3.3b. Distribución población sin servicio en los municipios de la subcuenca Huaquechula.

Debido al carácter complejo de los espacios rurales y su comportamiento no lineal, se obtiene la correlación de la población y disposición para representarlos como una función diferenciable (ecuación 1). La función diferencial [3] mostrada es representativa de la subcuenca.

$$Z_i(x) = \frac{\partial z}{\partial g} = 0.0004 \exp^{0.0097x} = 107176.8 \frac{kg}{día} \quad [3]$$

El resultado de la derivada es la generación de residuos sólidos de las localidades rurales que cuenta el municipio de Atlixco. Se observa que sus espacios rurales generan una cantidad estimada de 107176.8 kg al día o 107 ton, una cantidad considerable. Esta aproximación matemática es aplicable a las localidades y municipios rurales de la subcuenca de Huaquechula.

Como se ha mencionado, el fenómeno de la generación de residuos sólidos en espacios rurales se muestra con un comportamiento impredecible tanto en la espacialidad y en lo determinístico. Se observa una relación con los municipios urbanos hacia los rurales, es decir, entre una localidad esté más cerca de los centros urbanos su comportamiento tendrá un incremento en población, pero una incertidumbre en disposición.

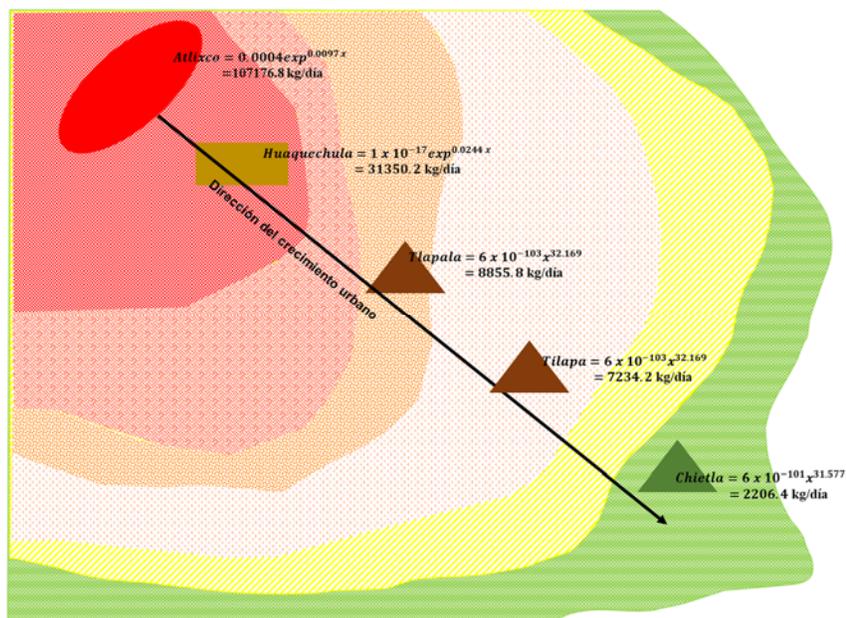


Figura 3.4. Sistema vectorial

En la Figura 3.4 se representa la generación de residuos con relación a la población como un sistema vectorial. El incremento de la población se ha presentado en el municipio de Atlixco que se considera municipio urbano, pero se ha extendido hacia Huaquechula y Chietla considerados rurales. Debido a que cada municipio tiene por característica una dimensión, longitud y sentido en la superficie. La dirección que toma el crecimiento urbano dentro de la subcuenca de Huaquechula es presentada por vectores.

Se observa la generación de residuos sólidos en los municipios y localidades rurales representados en la Figura 3.4 de forma descendente. Los municipios urbanos con localidades rurales pueden realizar ajustes en sus flujos de masa-energía, en cambio los municipios o localidades rurales no tiene la misma condición como lo señalan (Caballero et al., 2011).

La dirección del crecimiento urbano indica que entre más cerca este una localidad de un centro urbano mayor será su generación de residuos sólidos y viceversa. Estas relaciones de funciones son representadas como una ecuación diferencial, que tiene como propiedad la relación de sus razones de cambio como se muestra a continuación:

$$\Delta Z(g(x, q)) = [(0.0004 \exp^{0.0097x}), (1 \times 10^{-17} \exp^{0.0244x}), (6 \times 10^{-103} \exp^{32.169x}), (6 \times 10^{-103} \exp^{32.169x}) (6 \times 10^{-101} x^{32.31577})]$$

$$\Delta Z(g(x, q)) = [107176.8, 31350.2, 8855.8, 7234.2, 2206.4]kg/día$$

La resolución de la ecuación 2, indica la comparación de la población y disposición de cada municipio expresado matemáticamente en derivas parciales, manteniéndose constante el espacio (subcuenca de Huaquechula).

El corredor de municipios representativo de la subcuenca muestra la razón de cambio, como la cantidad de residuos sólidos que se generan al día. Se aprecia de manera descendente la generación de RS. Este proceso indica los cambios físicos del espacio de carácter complejo.

Discusión

En la zona de estudio se observan tres grandes centros urbanos: Atlixco, Izúcar y Cholula; cuatro localidades periurbanas, y el resto se distribuyen en rurales y mixtas. Las

comunidades urbanas están ubicadas en un corredor de forma que no compiten entre sí por recursos, la distancia entre localidades es de 16 y 30 km, con una dispersión muy alta, de 0.025 hab/km², lo que significa que los espacios entre ellos son rurales, pero en las cercanías de las urbanas, se acumulan las periurbanas. Este patrón no se relaciona con la población.

En cuanto al comportamiento en la falta de servicio, solo la parte central de Cholula presenta niveles elevados de falta de servicio, el resto está en rangos de aceptable a nulo. En este caso, la falta de servicio si parece estar relacionada con la población.

Respecto a la disposición de residuales se nota un patrón a partir de los tres municipios urbanos hacia los espacios periurbanos; en cuanto a los espacios rurales, el comportamiento es dual, están los espacios donde las tasas van de muy bajo a nulo y los que están en disposición media. Es de hacer notar que los municipios rurales en todo el corredor presentan una disposición de tendencia media a muy baja.

La gradualidad espacial nos permite aseverar:

- a) El espacio urbano tiene una función bien definida y con un ajuste mayor al 95%
- b) El espacio periurbano presenta una función diferente con un ajuste mayor al 90%
- c) En los espacios rurales se denotan dos funciones, una exponencial con ajuste menor de la función urbana (80%), y una potencial con ajuste mayor al 95%
- d) El espacio rural tiene una función exponencial, como los espacios urbanos, pero tiene un ajuste menor al 80%.
- e) Finalmente, hay un espacio mixto, que no se adapta a ninguna función.

La metodología propuesta, con las variables que se han usado es aplicable al resto de los espacios rurales, hay un buen ajuste, por lo tanto, permite estimar los desechos en las zonas rurales de forma confiable y con ello diseñar políticas públicas. Por lo tanto, podemos asegurar que espacialmente se puede proponer un modelo diferencial sustentado en las variables de espacio y densidad de población.

Conclusiones

Los centros poblacionales son espacios complejos. En México, son productos del crecimiento no planificado de comunidades que han detonado su crecimiento a partir de algún elemento económico: explotación de recursos, desarrollo tecnológico-industrial o comercio y, se constituyen por la colindancia de espacios con características bien definidas que le dan uniformidad. Conforme una localidad crece ocupa espacios colindantes en demanda de recursos como agua, alimentos y vivienda. Esta construcción genera una estructura compleja de carácter orgánico, donde cada elemento cumple con una función vital para la totalidad del centro poblacional, el ingreso de masa-energía a un sistema es un indicador directo de la complejidad de este.

La falta de gestiones integrales ha impactado directamente en la disposición de los residuos sólidos. Esta gestión le compete directamente al nivel municipal, pero la realidad es que carecen de las fortalezas técnicas y económicas necesarias para realizarla. Esto ha llevado a que, en las zonas urbanas, donde hay mayor cantidad de habitantes exista un servicio de recolección municipalizado, dejando totalmente en abandono y descuido a los espacios rurales, donde los desequilibrios son notorios, respecto al tema de los residuos sólidos municipales (basura).

El crecimiento de los centros poblacionales no toma en cuenta las características de su entorno, simplemente los absorbe y reasigna funciones basadas en las necesidades de la población mayoritaria y más demandante.

Esto confirma la hipótesis que los espacios rurales no presentan un modelo bien definido contrario a los espacios urbanos. Los espacios rurales tienen habilidades de adaptación, esta capacidad de respuesta-adaptación determina su desarrollo y nivel de sobrevivencia. A mayor complejidad menor capacidad de respuesta.

CONCLUSIONES GENERALES

La generación de residuos sólidos (RS) es un tema poco abordado y explorado desde los espacios rurales, los medios informativos y los centros académicos han realizado pocas intervenciones en estas zonas, a diferencia de los espacios urbanos donde se cuenta con mayor disponibilidad de información. Las metodologías establecidas para los espacios urbanos no son compatibles con los rurales, lo que complica conocer sus datos primarios para realizar una gestión integral adecuada. La estimación de los RS en los espacios rurales demuestra la cantidad alta de desechos que son generados, sin embargo, aún no son estudiados o explorados en este rubro. La correlación RS y disposición representado en funciones diferenciales de los municipios que se localizan en la subcuenca de Huaquechula permite esclarecer que no pueden ser estudiados o estimados de la misma manera, es decir, aplicar la misma metodología de los municipios urbanos a los municipios mixtos o rurales, por lo que se infiere que la gestión integrada para los RS implementada por los municipios no es del todo asertiva. Por tanto, la metodología propuesta para los espacios rurales permitirá un mayor acercamiento de su volumen de RS y que los municipios con estas condiciones presenten fundamentos para brindar respuestas a la emisión de desechos sólidos, determinar su volumen, disposición y distribución espacial que den paso a la generación de políticas públicas.

LITERATURA CITADA

- Juarez, G. A. & Navarro, S. I. (2013). Influencia del Pensamiento Sistémico en la enseñanza de sistemas dinámicos planos. *Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología*, 4(3), 21-30. <https://exactas.unca.edu.ar/riecyt/WEB%20RIECyT%20-2B-/Vol%204%20Num%203.htm>.
- Ahmed, J.U. (2010). Documentary research methods: new dimensions. *Indus Journal of Management & Social Sciences* 4(1): 1-14. <https://ideas.repec.org/a/iijh/journal/v4y2010i1p1-14.html>.
- Anflor, C. T., Braga, L. M., & Eder, L. (2015). The fast multipole boundary element method performance evaluation for topological optimization procedure. *Ingeniare. Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería*, 23(4), 655-662. https://www.ingeniare.cl/index.php?option=com_ingeniare&view=va&aid=461&vid=&lang=es.
- Araiza Aguilar, J. A., Chávez Moreno, J. C., & Moreno Pérez, J. A. (2017). Cuantificación de residuos sólidos urbanos generados en la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(4), 691-699. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.04.12>
- Araiza Aguilar, Juan Antonio, & José Zambrano, Miguel Eduardo (2015). Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas SIG: un caso de estudio. *Ingeniería*, 19(2), 118-128.
- Argote-Cusi, M.L. (2018). El uso de la lógica difusa en proyecciones de población: el caso de México. *Papeles de Población*, 24(95), 273-301. doi.org/10.22185/24487147.2018.95.11,
- Azuz, I., & Rivera, E.A. (2007). Estimación del crecimiento poblacional para los estados costeros de México. *Papeles de Población*, 13(51), 187-221. <http://www.scielo.org.mx/pdf/pp/v13n51/v13n51a7.pdf>.
- Betanzo-Quezada, E., Torres-Gurrola, M. Á., Romero-Navarrete, J. A., & Obregón-Biosca, S. A. (2016). Evaluación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con apoyo de dispositivos de rastreo satelital: análisis e implicaciones. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 323-337.
- Bhalla, N., O'Boyle, J. y Haun, D. (2019). Who is responsible for Dheli air pollution? Indian newspapers' framing of causes and solutions. *International Journal of Communication* 12: 41.64.

- Boccaro, N. (2010). *Modeling complex systems*. Springer Science & Business Media.
- Bowen, G.A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2): 27-40.
- Caballero-Saldívar, D. E., de la Garza-Requena, F. R., del Carmen Andrade-Limas, E., & Briones-Encinia, F. (2011). Los rellenos sanitarios: una alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos. *CienciaUAT*, 6(2), 14-17.
- Caballero-Saldívar, D. E., de la Garza-Requena, F. R., del Carmen Andrade-Limas, E., & Briones-Encinia, F. (2011). Los rellenos sanitarios: una alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos. *CienciaUAT*, 6(2), 14-17.
- Calloway, C., Jorgensen, C.M., Satahaiya, M. y Tsui, J. (2006). A content analysis of news coverage of the HPV vaccine by U.S. newspapers, *Journal of Womens Health*, 15(7): 803-809. DOI: 10.1089/jwh.2006.15.803.
- Carrasco, I., & Vivanco, M. (2011). ¿Sistemas dinámicos en ciencias sociales? *Revista de Sociología*, (26), 169-211. <https://doi.org/10.5354/rds.v0i26.27492>.
- Castañeda Delgado, G. A., & Pérez Escatel, A. A. (2015). La problemática del manejo de los residuos sólidos en seis municipios del sur de Zacatecas. *Región y sociedad*, 27(62), 97-115.
- Castañeda Delgado, G. A., & Pérez Escatel, A. A. (2015). La problemática del manejo de los residuos sólidos en seis municipios del sur de Zacatecas. *Región y sociedad*, 27(62), 97-115.
- Castillo-González, E., & De Medina-Salas, L. (2014). Generación y composición de residuos sólidos domésticos en localidades urbanas pequeñas en el estado de Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(1), 81-90.
- Castillo-González, E., & De Medina-Salas, L. (2014). Generación y composición de residuos sólidos domésticos en localidades urbanas pequeñas en el estado de Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(1), 81-90. www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a7.pdf
- Castro, J. A. G., & Pérez, G. B. (2016). Gestión de residuos sólidos urbanos, capacidades del gobierno municipal y derechos ambientales. *Sociedad y ambiente*, 1(9), 73-101.

- De Andrade, S.R., Schmitt, M.D., Storck, B.C., Piccoli, T. y Backes, A.R. (2018). Documentary analysis in nursing theses: data collection techniques and research methods. *Cogitare Enferm.* 23(1): e53598.
- Enciso, A.L. (2019). En México existen alrededor de 40 rellenos sanitarios; ninguno opera en forma correcta. *La Jornada*, 5 de septiembre de 2019.
- Fontanelli, O., Mansilla, R., & Miramontes, P. (2019). Distribuciones de probabilidad en las ciencias de la complejidad: una perspectiva contemporánea. *Inter disciplina*, 8(22), 11-37.
- Friesen-Pankratz, B., Bautista, L.G., de Jesús, Z. M., García, S.R. y Weibe, A. 2011. El manejo de los residuos en una comunidad rural de México: prácticas actuales y planes futuros. *Hacia la sustentabilidad: los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima*. Pp 451-455 ISBN 978-607-607-015-4.
- Galván F. M. A., Bustamante G. A. y Cruz B. G (2020). Libro Volumen I de la Colección: "Recuperación transformadora de los territorios con equidad y sostenibilidad". Capítulo "¿Por qué es tan difícil resarcir los impactos ambientales en las grandes ciudades? Planteamiento conceptual". Págs. 117-138. AMECIDER. <http://ru.iiec.unam.mx/5395>. ISBN del volumen: UNAM 978-607-30-5332-7, AMECIDER 978-607-8632-18-3.
- Galván Fernández, M. A. (2012). Capítulo tres. Manejo integral de la ciénega de tláhuac, d.f.: creación de umas piscícolas y agropecuarias. *Saneamiento del lago de los reyes*. Cozumel.
- García Rubio, C. I. (2013). Radiografía de la prensa diaria en México en 2010. *Comunicación y sociedad*, (20), 65-93.
- García, Rolando. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria* (1º ed.). Barcelona: Gedisa. https://www.academia.edu/9461195/Sistemas_Complejos_2006_Rolando_García
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (10 de abril del 2021). Censos de Población y vivienda. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#Datos_abiertos.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (12 de abril del 2021). Densidad de población. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/densidad>.

- Jiménez, N.M.M. (2015). La gestión integrada de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* 17: 29-56. DOI: 10.17141/letrasverdes.17.2015.1419.
- John, S.G. (2020). Attention of Nigerian newspapers to air pollution. *Air Quality, Atmosphere & Health* 13: 1517-1526. doi:10.1007/s11869-020-00905-8.
- Kalmar-Nagy, T., & Stanciulescu, I. (2014). Can complex systems really be simulated?. *Applied Mathematics and Computation*, 227, 199-211.
- Lanzas, C., & Chen, S. (2015). Complex system modelling for veterinary epidemiology. *Preventive veterinary medicine*, 118(2-3), 207-214.
- León-Gómez, H. D., Cruz-Vega, C. R., Dávila-Pórcel, R. A., Velasco-Tapia, F., & Chapa-Guerrero, J. R. (2015). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 32(3), 514-526.
- Lopera, E. y Moreno, C. (2014). The uncertainties of climate change in Spanish daily newspapers: content analysis of press coverage from 2000 to 2010. *Journal of Science Communication* 13(1). DOI:<https://doi.org/10.22323/2.13010202>.
- Lopez-Yamunaque, A. e Iannacone, J. (2021). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en América Latina. *Paideia XXI* 1182): 189-210.
- Modojam, M., Matlabi, M., Haji, A., Cheragi, M., Bitaraf, S. y Khafale, M.A. (2018). Khuzestan dust phenomenon: a content analysis of most widely circulated newspapers. *Environmental Science and Pollution Research*. 25: 15918-15924. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1833-5>.
- Mogalakwe, M. (2006). The use of documentary research methods in social research. *African Sociological Research* 10(1): 221-230.
- Nava-Uribe, E., Juárez-López, A.L. y Sampedro-Rasas, M.L. (2015). Análisis comparativo de los residuos sólidos domésticos en localidades semirurales y rurales del estado de Guerrero, México. *Tlamati* 6(3): 11-19.
- Nuñez, E. (2022). En siete días Comisariado ejidal de Malacatepec autorizó cambio de uso del suelo de 21 hectáreas para el proyecto City Lomas Ocoyucan. *La Jornada de oriente*, 23 de marzo de 2022. https://www.lajornadadeoriente.com.mx/noticias/capital_conurbados/ran-cambio-de-uso-de-suelo-malacatepec/.

- Omendi M, (24 de septiembre del 2012). Desechos sólidos, gran problemática en México. IMAGEN radio. Recuperado de <https://www.imagenradio.com.mx/desechos-solidos-gran-problematica-en-mexico>.
- Ortiz Méndez, G.A. (2021). Criterios para la evaluación de los costos en la seguridad y salud en el trabajo: una revisión bibliográfica. *Signos, Investigación en Sistemas de Gestión* 13(2). DOI <https://doi.org/10.15332/24631140.6671>.
- Owusu-Nimo, F., Oduro-Kwarteng, S., Essandoh, H., Wayo, F., and Shamudeen, M. (2019). Characteristics and management of landfill solid waste in Kumasi, Ghana. *Scientific African*, 3, e00052.
- Pellechia, M.G. (1997). Trends in science coverage: a content analysis of three US newspapers. *Public Understanding of Science* 6(1): 49-68. doi:10.1088/0963-6625/6/1/004.
- Pérez, G. B. (2012). El confinamiento de la basura urbana y la contaminación de las fuentes de agua en México. *Revista de El Colegio de San Luis*, 2(4), 36-53.
- Pérez, G. B. (2015). La gestión de los residuos sólidos: un reto para los gobiernos locales. *Sociedad y Ambiente*, 1(7), 72-98.
- Pinazo-Calatayud, D. (2006). Una aproximación al estudio de las emociones como sistemas dinámicos complejos. *REME*, 22(9).
- Pintado, C., & Pérez, M. (2004). *Redes Neuronales y Sistemas Dinámicos Complejos*.
- Programa de Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Puebla 2011-2017. (2011). [Archivo PDF].
- Ramírez, A. L., & García, M. O. (2011). Identificación de los residuos sólidos generados por el turismo dentro de un área natural protegida: caso Parque de los Venados. *El Periplo Sustentable*, (21), 61-100.
- Ramondt, S. y Ramirez, A.S. (2020). Media reporting on air pollution: health risk and precautionary measures in national and regional newspapers. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17: 6516. doi:10.3390/ijerph17186516.
- Ramos, G. C. D. (2016). Residuos sólidos municipales, minería urbana y cambio climático. *El cotidiano*, (195), 75-84.

- Rejón, E. M. H. (2014). Sustentabilidad y calidad de vida urbana. *Revista de la SEECI*, 159-169.
- Rodríguez, D.G.E. y Monstesillo, C.J.L. (2017). Propuesta para la gestión sustentable de los residuos sólidos municipales en la zona central conurbada de Toluca. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño* 12(21): Enero-Junio, ISSN: 2007-3615.
- Rosen, R. (1987). On complex systems. *European Journal of Operational Research*, 30(2), 129-134.
- Sánchez, P. G., Grajeda, J. G., & Mayo, A. R. P. (2021). Las organizaciones como sistemas complejos. *Política y Cultura*, (56), 133-151.
- Segrado Pavon, R. G., Gonzalez Damian, A., Arroyo Arcos, L., & Palafox Muñoz, A. (2010). El desarrollo de Cancún analizado desde la teoría de los sistemas complejos.
- SEMARNAT. (2013). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave de desempeño ambiental. Edición 2012. México.
- Solórzano, G.O. (2003). Aportaciones de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: el caso del metano. *Gaceta Ecológica* 66:7-15.
- Taboada P, Aguilar Q, Cruz S, Ramírez M, (2013). Manejo y potencial de recuperación de residuos sólidos en una comunidad rural de México. *Rev. Int. Contam. Ambie* 29, 43-48.
- Taboada-González, P. A., Aguilar-Virgen, Q., & Ojeda-Benítez, S. (2011). Análisis estadístico de residuos sólidos domésticos en un municipio fronterizo de México. *Avances en ciencias e ingeniería*, 2(1), 9-20.
- Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., Cruz-Sotelo, S. E., & Ramírez-Barreto, M. E. (2013). Manejo y potencial de recuperación de residuos sólidos en una comunidad rural de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 43-48.
- Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., Cruz-Sotelo, S.E y Ramírez-Barreto, M.E. (2013). Manejo y potencial de recuperación de residuos sólidos en una comunidad rural de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29(3): 43-48.
- Tang, L. (2012). Media discourse of corporative social responsibility in China: a content analysis of newspapers. *Asian Journal of Communication*, 22(3): 270-288. doi:10.1080/01292986.2012.662515.

- Toledo, M. Á. R. (2020). Consideraciones para la investigación simbólica en Diseño desde los sistemas complejos. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (82), 69-85.
- Ugalde, V. (2007). Sobre el gobierno en las zonas metropolitanas de México. Estudios demográficos y urbanos, 22(2), 443-460.
- Vergara, S.E. and Tchobanoglous, G. 2012. Municipal solid waste and the environment: a global perspective. Annual Review of Environment and Resources 37: 277-309. doi:10.1146/annurev-environ-050511-122532.
- Wakefield, S.E.L. y Elliott, S.J. (2003). Constructing the news: the role of local newspapers in environmental risk communication. The Professional Geographers 55(2): 216-226.