



Universidad
La Salle®
Oaxaca

REVISTA CIENTÍFICA DE
INGENIERÍAS
Y ARQUITECTURA

VOLUMEN 2 NÚMERO 1

Índice

Carta Editorial	3
Gestión ambiental comunitaria en San Pablo Macuiltianguis, Oaxaca	6
Uso Del Modelo AERMOD para la estimación de la dispersión de material particulado proveniente de la industria ladrillera en la Zona Metropolitana de Oaxaca	18

Carta Editorial

La divulgación de artículos de investigación en las universidades, conforma un espacio académico-científico que potencia la generación de conocimiento, propósito que toda institución académica debe promover. La Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura, en correspondencia a la visión de la Universidad La Salle Oaxaca, promueve y fomenta la investigación y el conocimiento que en esta ocasión se presenta a través de dos artículos de gran relevancia en temáticas de interés colectivo, que señala de forma especial la preocupación sobre el medio ambiente.

En esta ocasión la revista publica dos artículos el primero de ellos presenta la Gestión ambiental comunitaria, ubicándose en la sierra norte oaxaqueña, desde donde los autores, van relacionando el proceso de gestión ambiental a partir de los distintos factores que estructuran los criterios ambientales de la comunidad de San Pablo Macuiltianguis, Oaxaca.

El trabajo participativo realizado, ha permitido integrar a los distintos actores que de forma colaborativa impulsaron acciones de beneficio colectivo; resaltando con ello el compromiso social y ambiental que forma parte de la visión de la revista.

El segundo artículo centra la atención en la generación de emisiones contaminantes y la propuesta de un modelo que permita la cuantificación de emisiones generadas por los hornos ladrilleros localizados en la Zona Metropolitana de Oaxaca. Se hace énfasis en la problemática que se presenta en los hornos de fabricación de ladrillos y la ausencia de un sistema adecuado de control de emisiones. El valor de esta investigación es el análisis para la determinación del modelo AERMOD y la prospectiva del planteamiento de estrategias y tecnología que contribuyan a la disminución de los contaminantes que afectan en la salud de los habitantes.

Sin duda alguna, la atención de las investigaciones se focaliza en la contribución de alternativas en búsqueda de solución de las afectaciones medioambientales en el estado de Oaxaca, favoreciendo la indagación de otros temas que fortalezcan la búsqueda de acciones en beneficio de la comunidad.

El compromiso social y ambiental que destaca la visión de la Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura, y de la Universidad La Salle Oaxaca, se encuentra presente en el desarrollo de estos artículos, que incentivan al lector sobre la atención a los problemas que no solo demanda el Estado, sino que forman parte de la agenda nacional y mundial, en búsqueda de propuestas que mitiguen las alteraciones del medio ambiente.

Indivisa Manent
Lo unido permanece

Arq. Laura Olivia Baca Ángeles
Coordinadora de la Licenciatura de Arquitectura
y Maestría en Diseño Arquitectónico Sustentable
Universidad La Salle Oaxaca

Derechos de Autor© 2023 Laura Olivia Baca Ángeles



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

Aviso de Privacidad

Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura

La Universidad La Salle Oaxaca A.C., con domicilio en Camino a San Agustín No. 407, Colonia Santa Cruz Xoxocotlán Oaxaca, Oaxaca, C.P. 71230, es responsable del tratamiento de sus datos personales en términos de lo establecido por el artículo 3º fracción XIV de la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de Particulares (LFPDPPP). Los datos personales generales recabados de manera electrónica en este formulario como lo son: nombre completo, correo electrónico personal e institución o lugar de procedencia, serán utilizados para el llenado del formulario de registro que le permitirá tener acceso para publicar o proponer artículos para su exposición en "La Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura" de la Universidad La Salle Oaxaca. Si usted tiene alguna duda sobre el manejo de los datos personales o desea ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación u oposición, o bien quiere conocer nuestro aviso de privacidad integral, puede hacerlo entrando a nuestro sitio web: [web www.ulsaoaxaca.edu.mx](http://web.ulsaoaxaca.edu.mx).

Gestión ambiental comunitaria en San Pablo Macuiltianguis, Oaxaca

Oscar Francisco Mijangos-Ricárdez^{1*}, Jaime López-Luna², Miguel Ángel Curiel Olivera³, Viridiana Milla-Ramírez⁴
 *Autor de correspondencia: osramin@gmail.com
 DOI: 10.56643/rcia.v2i1.162

Resumen

San Pablo Macuiltianguis es un municipio del estado de Oaxaca ubicado en la región de la Sierra Norte y perteneciente al distrito de Ixtlán de Juárez. Conforme su ordenamiento territorial existe áreas forestales que coordina y vigila el Comisariado de Bienes Comunales, mientras que en las zonas de asentamiento urbano estas funciones son realizadas por la autoridad municipal. La tenencia de la tierra en el municipio es comunal. De acuerdo con un microdiagnóstico llevado a cabo por el H. Ayuntamiento Municipal 2021-2022, San Pablo Macuiltianguis tiene una población de 266 habitantes, de los cuales 50.53% son hombres y 49.46% mujeres. Mayoritariamente, la población está conformada por habitantes de edad adulta y tercera edad. Este trabajo se enfoca en el proceso de gestión ambiental comunitario que la comunidad de San Pablo Macuiltianguis decidió comenzar en colaboración con la Universidad de la Sierra Juárez.

La gestión ambiental es el conjunto de actividades humanas cuyo objeto es el ordenamiento del ambiente. Sus componentes principales son la política, el derecho y la administración ambiental. Por tanto, la gestión ambiental comprende no sólo los actos materiales involucrados en el manejo del medio ambiente, sino también todo aquello que relacionado con dicho manejo. Parte de la gestión ambiental consiste en la formulación de la política y la legislación ambiental.

El proyecto tuvo como objetivo establecer e implementar un sistema de gestión ambiental comu-

nitario, considerando la realidad de las condiciones ambientales que convergen en esta población.

Para ello, tras realizar un análisis FODA municipal (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), se diseñaron e implementaron talleres de educación ambiental con el cabildo municipal. Además, se impulsó la creación de un reglamento municipal en materia de residuos sólidos y se gestionó la creación de una agenda ambiental que abarca la rehabilitación de tres plantas de tratamiento de aguas residuales, un estudio de la generación de residuos sólidos y un plan integral de residuos sólidos.

Palabras clave: educación ambiental, gestión ambiental comunitaria, residuos sólidos urbanos.

Abstract

San Pablo Macuiltianguis is a municipality in the state of Oaxaca, located in the Sierra Norte region belonging to the District of Ixtlán de Juárez. Due to land use planning, there are forest areas coordinated and supervised by the Commissariat of Communal Assets and in urban settlement areas by the Municipal Authority. Land tenure in the municipality is communal. Based on a micro diagnosis carried out by the H. Municipal Council 2021-2022, San Pablo Macuiltianguis has a population of 266 inhabitants of which 50.53 % are men and 49.46 % are women, the majority population are elderly inhabitants adult and elderly. In this theme, environmental management is the set of human activities that aim to order the environment. Its main components are environmental policy, law and administration. Therefore, environmental management includes not only the material acts involved in managing the environment, but also everything that has to do with said management. The formulation of environmental policy and legislation is an activity that is part of environmental management. This work focuses on the community environmental management process that the community of San Pablo Macuiltianguis decides to start with the collaboration of the Universidad de la Sierra Juárez, the objective was to establish and implement a community environmental management system, based on the reality of the environmental criteria that converge in said population.

In this project, environmental education workshops were designed and implemented based on a

¹Maestro en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez. Av. Universidad s/n, Carr. Guelatao-Ixtlán, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, C.P. 68725, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3235-954X>. Correo electrónico: osramin@gmail.com

² Doctor en Ciencias en Biotecnología, Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez. Av. Universidad s/n, Carr. Guelatao-Ixtlán, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, C.P. 68725, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8249-9786>

³Maestría en Ingeniería Ambiental, Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez. Av. Universidad s/n, Carr. Guelatao-Ixtlán, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, C.P. 68725, México.

⁴ Licenciada en Ciencias Ambientales, Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez. Av. Universidad s/n, Carr. Guelatao-Ixtlán, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, C.P. 68725, México.

Recibido: 18/10/2022 | Aceptado: 26/03/23 | Publicado: 31/05/2023

municipal SWOT analysis (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) with the municipal council, in addition the creation of a municipal regulation on solid waste was promoted and an environmental agenda that includes the rehabilitation of three wastewater treatment plants, the study of solid waste generation and a comprehensive solid waste plan.

Keywords: environmental management, environmental education, urban solid waste

Cómo citar este artículo: Mijangos-Ricárdez, O. F., López-Luna, J., Curiel Olivera, M. A., & Milla-Ramírez, V. (2024). Gestión ambiental comunitaria en San Pablo Macuiltianguis, Oaxaca. *Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura*. 2(1). 7-28. DOI: <https://doi.org/10.56643/rcia.v2i1.162>

Introducción

San Pablo Macuiltianguis es un municipio del estado de Oaxaca ubicado en la región de la Sierra Norte y perteneciente al distrito de Ixtlán de Juárez (figura 1). Se localiza entre las coordenadas 17° 32' de latitud norte y 96° 33' de longitud oeste, a una altura de 2 040 metros sobre el nivel del mar y a 118 kilómetros de la ciudad de Oaxaca (CMDRS, 2012). Su lengua materna es el zapoteco, su baile característico es el torito serrano, mientras que el deporte más practicado en la comunidad es el básquetbol. El 25 de enero de cada año se lleva a cabo su fiesta patronal en honor a San Pablo Apóstol.

Conforme al ordenamiento territorial existe áreas forestales que coordina y vigila el Comisariado de Bienes Comunales; en las zonas de asentamiento urbano estas funciones son ejercidas por la autoridad municipal. La tenencia de la tierra en el municipio es comunal.

De acuerdo con un microdiagnóstico realizado por el H. Ayuntamiento Municipal 2021-2022, San Pablo Macuiltianguis tiene una población de 266 habitantes, de los cuales 50.53% son hombres y 49.46% mujeres. Mayoritariamente, la población está conformada por habitantes de edad adulta y tercera edad, lo que responde a que su índice de natalidad es muy bajo y a que la mayor parte de los jóvenes emigran hacia la capital mexicana o hacia Estados Unidos de América.

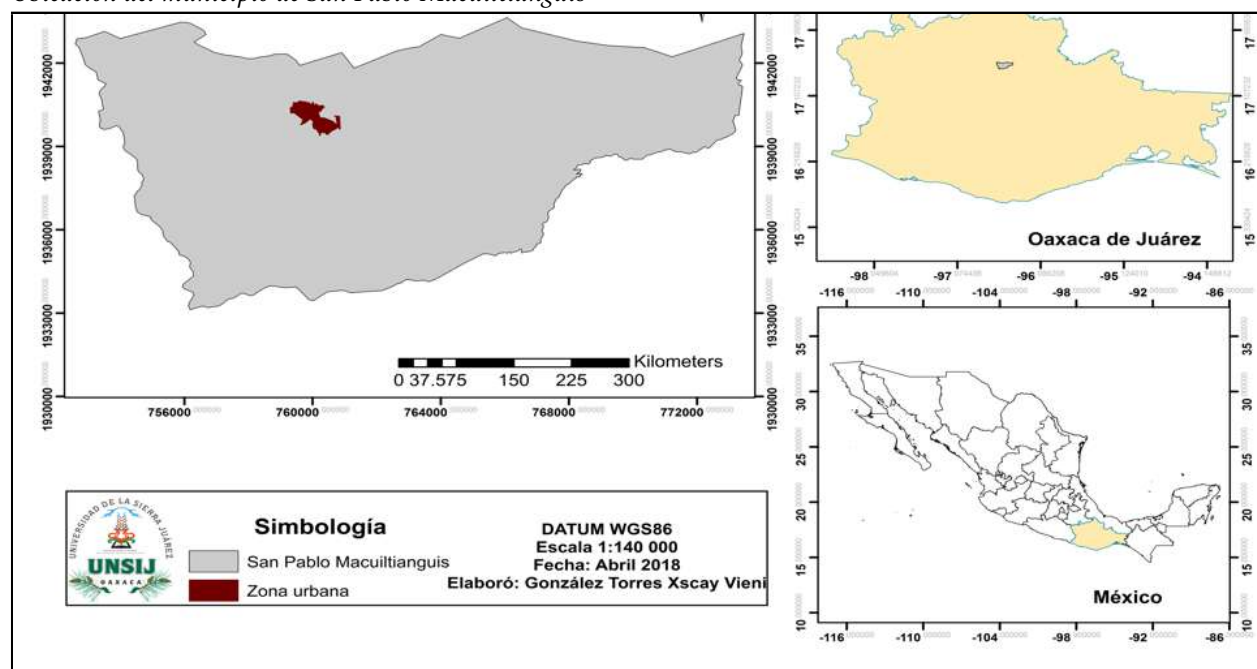
Por gestión ambiental (GA) se entiende el con-

junto de actividades humanas que tienen por objeto ordenar el ambiente (Brañes, 2010); la misma se sustenta en la política, el derecho y la administración ambientales. Asimismo, la GA se relaciona con el conjunto de actos basados en la ley (normatividad) y en los recursos materiales que tienen su origen en la formulación de la política ambiental, como también en las acciones realizadas para conseguir los objetivos planteados. Si bien la GA es una función del Estado, bajo el principio de corresponsabilidad se convierte en una función compartida por la sociedad civil y el Estado.

En este documento se muestra el diseño e implementación de acciones de gestión ambiental comunitaria (intervención comunitaria) que consideren la realidad de las condiciones ambientales que convergen en esta población. La solicitud de cooperación comunitaria partió de la autoridad municipal (2017). Cabe señalar que la gestión ambiental es un proceso inacabado que va evolucionando en el tiempo y afrontando riesgos y oportunidades; en este caso, un aspecto importante es que surgió de las personas que habitan San Pablo Macuiltianguis.

En este proyecto, tras la realización de un diagnóstico municipal, se diseñaron e implementaron talleres de educación ambiental; asimismo, se impulsó una agenda ambiental que abarca la rehabilitación de tres plantas de tratamiento de aguas residuales, un estudio de la generación de residuos sólidos y un plan de educación ambiental.

Figura 1.
Ubicación del municipio de San Pablo Macuiltianguis



Nota: elaboración propia.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó entre julio de 2017 y octubre de 2022, llevándose a cabo en las siguientes etapas:

1. Acercamiento entre la comunidad de San Pablo Macuiltianguis y la Universidad de la Sierra Juárez. Dicho acercamiento se realizó a través de la Coordinación de Promoción del Desarrollo que tiene por objetivo una de las funciones sustanciales de la Universidad de la Sierra Juárez: atender de manera oportuna e integral solicitudes de comunidades que necesiten apoyo técnico en alguna de las áreas que ofrece la institución.

2. Diagnóstico comunitario con las autoridades municipales. Para conocer la realidad comunitaria a partir de sus características externas e internas, se utilizó la herramienta análisis foda (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades). En dicho análisis participaron el Cabildo municipal y responsables del proyecto de la Universidad de la Sierra Juárez (Unsi).

3. Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (girsu): como primer paso se realizó un estudio de generación de rsu; éste mide los kilogramos generados por habitante por día (generación per-cápita). La información se obtuvo de un muestreo aleatorio de cada uno de los sectores socioeconómicos de la

comunidad efectuado en campo; dicho estudio se basó en las normas mexicanas: NMX-AA-015-1985. Muestreo-Método de cuarteo, NMX-AA-019-1985. Peso volumétrico in situ, NMX-AA-022-1985. Selección y cuantificación de subproductos y NMX-AA-061-1985. Determinación de la generación, Sedesol (2017), Santiago (2014) y Cortés (2012).

Finalmente se observó el sitio de disposición final de los rsu en el marco de la normatividad vigente (NOM-083-Semarnat-2003), Sedesol (2017), Semarnat (2003) y Semarnat (2017).

4. Tratamiento de agua residual: se realizó con la siguiente metodología: i. recopilación y análisis de la información en el área de estudio (visitas in situ), y ii. diagnóstico del estado estructural y funcional actual de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de San Pablo Macuiltianguis, efectuando la medición y cálculo de caudal (Semarnat, 2003). Cabe señalar que la comunidad tiene tres plantas de tratamiento de agua residual: ptar 1 “Xiyate”, ptar 2 “El arroyo” y ptar 3 “El panteón”.

5. Educación ambiental: tomando en cuenta que las autoridades municipales han tenido apertura al trabajo colaborativo, a partir del año 2018 comenzaron a impartirse talleres de educación ambiental a nivel de primaria y secundaria, como también a ciudadanos de la población, bajo la estructura del es-

tándar del Conocer-sep 0217. Asimismo, se impartieron cursos de formación del capital humano de manera presencial grupal. Dichas sesiones fueron diseñadas e implementadas por personal de la Universidad de la Sierra Juárez, debiendo ser interrumpidas en 2020 por la pandemia de Covid-2019.

Resultados y discusión

1. Diagnóstico comunitario con las autoridades municipales:

Se aclara que las expresiones recogidas en esta etapa provienen de las autoridades y del consejo de caracterizados de la comunidad; los autores sólo les dan sentido en función del análisis comunitario de la realidad (Mijangos-Ricárdez et al. 2023).

Análisis externo de la comunidad de San Pablo Macuiltianguis: los pobladores expresaron:

Político:

Existe un cambio de gobierno a nivel federal y se vive un proceso de transición “brusco”.
La llamada 4T (Cuarta Transformación) es necesaria, debido a los sucesos del neoliberalismo de anteriores gobiernos.
Dan esperanza los programas sociales (pensión universal a adultos mayores, becas a jóvenes, etcétera).
Hay cambios y/o reformas, pero la oposición no deja trabajar al gobierno.
Proceso democrático y el gobierno es una corriente política que “ve a los de abajo”.
Se busca seguimiento y compromiso con los proyectos que se están implementando.

Social:

Existe prioridad en proyectos sociales.
Servicios Médicos Públicos de calidad (medicamentos para todos).
Aumento de migración (falta de fuerza de trabajo).
Existen remesas de “paisanos” que dinamizan la economía nacional.
Apoyo a escuelas públicas (beneficio para la sociedad).
Becas a estudiantes y apoyos a campesinos, obreros, amas de casa, etc. Apoyo en proyectos productivos (no solamente subsidios).
Se está apoyando al sureste (infraestructura).
Riqueza cultural.

Económicos:

Retraso de aportaciones federales (detiene los programas o los trabajos municipales).
Recursos obtenidos a partir de la actividad forestal.
No hay devaluación del peso mexicano ante el dólar estadounidense.
Se ve a los estados del sureste (combate de la pobreza). Hay mejorías con la 4T.
Urge reactivar la economía del campo. Aún hay rezago económico en el país.

Legal:

Se están reformando las leyes a nivel federal.
Existe reconocimiento jurídico de los pueblos indígenas (mayor integración en las decisiones del país).
Mayor protección de los pueblos indígenas.
Debe haber mayor corresponsabilidad en el trabajo (aportar “granito de arena”) para cumplir las leyes.

Tecnológico:

No se ve aún el desarrollo tecnológico, pero en las comunidades deben fomentarse los medios digitales para no quedar rezagados (comunicación).
Actualizar el uso de la informática.
Potencial en los hidrocarburos (se está apostando por la autosuficiencia).
Mejorar las tecnologías de la comunicación en las comunidades.
A nivel país no hay desarrollo tecnológico (fuga de talentos).

Ecológico:

Uso y aprovechamiento del recurso bosque.
 Difusión y promoción del medio ambiente.
 Hay acciones palpables (por ejemplo, combate del sargazo en las playas mexicanas).
 Cuidado del medio ambiente.
 Tratamiento de residuos.
 Existe una problemática mundial ambiental (calentamiento global).
 Debe haber medidas que contengan los impactos ambientales.
 Hay oportunidades para el cuidado de los recursos naturales.
 Las comunidades (pueblos indígenas) realizan actividades de cuidado ambiental.
 Cuidado de la biodiversidad por parte de las comunidades indígenas.

Como se observa, a nivel externo la comunidad de San Pablo Macuilianguis enfrenta diferentes retos y oportunidades, entre ellos, el cuidado de los recursos naturales y la conservación de su riqueza cultural ante los embates de políticas económicas neoliberales. Se tiene un gobierno sensible a las causas de los pueblos originarios, que está implementando políticas dirigidas a los que menos tienen para transformar su realidad mediante subsidios y reformas legales.

1.2. Análisis interno de la comunidad de San Pablo Macuilianguis. **Se com**

Fortalezas:

Asamblea de ciudadanos (somete a consulta diferentes temas y problemáticas que afectan a la comunidad). Órgano máximo de aprobación.
 Tequio. Sentido de solidaridad (rescatar el sentido original).
 Recursos naturales (la forma en que se administran y aportan recursos económicos).
 Costumbres y tradiciones (unión de la comunidad y la familia).
 Convivencia en fiestas, es una comunidad viva.
 Existe la unión de pobladores internos y de fuera de la comunidad, y apoyo en las fiestas y problemáticas inherentes a las mismas.
 Organización política (usos y costumbres).
 Es una comunidad con criterio amplio e identidad (conservación de lengua materna).
 Comparten en común lo que tienen (innovan-luchones).
 Desarrollo de infraestructura a partir de trabajo comunal.
 Biodiversidad de fauna, flora y recursos hídricos.
 Se tiene la certificación forestal (bosque).
 Deseo de superación de la población (emigran).
 Ecoturismo (pinturas rupestres).
 Fomento y campeones en baloncesto.
 Baile tradicional “torito serrano”.
 Implementación de la regiduría del medio ambiente.
 Integración del comité de salud.
 Vinculación con la Unsij.
 Gestión ambiental de residuos sólidos y agua residual con recursos propios y externos.

Debilidades:

Tequio (cambio de visión, se ve como una costumbre para evitar multas).
 A veces la organización política-asamblea no tiene capacidad de análisis.
 No se ha podido transformar la materia prima (madera). Se vende la materia prima forestal (en rollo).
 Falta de población joven (hay más adultos mayores).
 Migración de jóvenes para seguir estudiando.
 Servicio de salud (falta un médico permanente, sólo hay médico pasante).
 Educación, por falta de alumnos no hay suficiente calidad en los estudiantes, debido a que se destinan menos recursos (Federación).
 Se ha dejado de trabajar la tierra (baja población y productividad de la tierra).
 No se tiene autosuficiencia alimentaria.
 La comunidad tiene estatutos, pero faltan talleres para que los ciudadanos conozcan el contenido.

Se evidencia que la comunidad tiene más fortalezas que debilidades. Sin embargo, existen aspectos que es necesario reforzar, a saber: rescate del sentido del tequio y la comunalidad; mayor apoyo a la capacitación de la ciudadanía en temas transversales y de interés común; fomentar el trabajo en el campo y motivar a los jóvenes para que no lo abandonen de manera de lograr la seguridad alimentaria. El fenómeno de la migración es crítico y bajo las tendencias puede hacer a la comunidad sin gente.

La segunda parte de este diagnóstico abarcó:

Oportunidades: Conocer a la comunidad y su gente para valorar lo que poseen. Continuidad de las colaboraciones con otras instituciones (Unsiy, UAM), jóvenes profesionistas de la comunidad . Reforestación y cuidado de las áreas de veneros (recurso hídrico). Rescate de la lengua (zapoteco). Integración de la mujer a la vida comunitaria y órganos de gobierno (equidad de género). Atención a temas de salud, educación, etc. Municipio modelo para el cuidado del medio ambiente. Diversificación de Notas de ingresos. Ecoturismo. Costumbres y tradiciones. Rescate de la historia de Macuiltianguis. Mayor coordinación de los grupos que hay en la comunidad. Integración de los profesionistas de la comunidad.	Amenazas: Fallas geológicas. Falta de canalización del agua de Ciénegas. No hay control de adicciones y alcoholismo. Globalización (consumismo, medio ambiente, economía, estilo de vida, pérdida de identidad). Efectos del cambio climático (sequías, retraso en lluvias). Cambio generacional y migración. Fenómeno de migración de otras comunidades a Macuiltianguis, cambio en la dinámica comunal, pertenencia, derechos y obligaciones. Diversificación de Notas de ingresos.
---	--

Entre las amenazas resalta el fenómeno de la migración, que determina la falta de fuerza de trabajo. Esto puede ser solucionado parcialmente por la comunidad con personas de comunidades cercanas que buscan trabajo, pero trae consigo el cambio de la vida comunal.

Asimismo, se deben diversificar las Notas de ingresos, para que sea posible atender las demandas de la ciudadanía.

Es necesario mantener la vinculación con la Unsiy en temas referentes a gestión ambiental (agua, residuos sólidos, educación ambiental, etcétera).

2. Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU): con base en la información obtenida, se calculó la generación promedio per cápita de residuos sólidos domiciliarios, registrándose que, para el municipio de San Pablo Macuiltianguis, asciende a 0.203 kg/hab-día (70%); también se calculó la cantidad promedio per cápita de residuos sólidos no domiciliarios, que equivale a 0.087 kg/hab-día (30%). Esto arroja un total de RSU de 0.290 kg/hab-día (tabla 1).

Tabla 1.
Generación per cápita total de residuos en San Pablo Macuiltianguis

Generación per cápita de los residuos	Domiciliarios	No Domiciliarios
Parcial	70%	30%
	0.203 Kg / hab-día	0.087 Kg / hab-día
Total	0.290 Kg/hab-día	

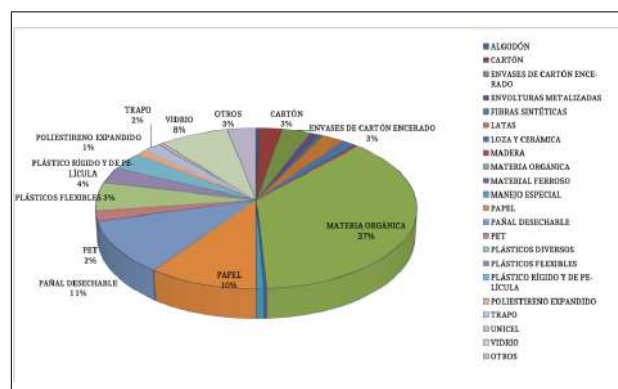
La figura 2 muestra el total de subproductos obtenidos durante la selección. Se constató la presencia de 22 subproductos. El mayor componente fueron residuos de procedencia orgánica, que representaron más de 30% del total de los residuos generados; le siguen los pañales desechables con 11% y el papel con 10%, mientras que el cuarto lugar corresponde al vidrio que equivale a 8% del total de residuos.

Al comparar estos resultados con los de la comunidad San Juan Evangelista Analco, según los datos de Santiago (2013), se evidencia que el mayor porcentaje (44%) también correspondió a la fracción orgánica, seguida por pañales desechables (9.42), plástico rígido y película (6.05%). En el caso de la comunidad Nuevo Zoquiapam, Cortés (2012) reporta para Santa Catarina Lachatao 48.68% correspondiente a la fracción orgánica, 20.15% a ceniza, 10.61% a pañales desechables y 3.25% a bolsas de plástico. Para San Juan Chicomezúchil, Cortés indica que la materia orgánica representa 54.85%, los pañales desechables 15.97% y el plástico 7.25% del total de los residuos.

Otros autores, como Santiago (2014) y Pérez (2012), reportaron que del total de residuos sólidos generados en Santa María Jaltianguis 35.2% corresponde a materia orgánica, 29.9% a ceniza con y 5.5% a papel. Para Capulálpam de Méndez, la fracción orgánica ocupa 59.9%, el PET 5.7%, el papel 5.4% y los pañales desechables 4.9%.

Figura 2.

Clasificación de los subproductos obtenidos en la comunidad de San Pablo Macuilianguis



Nota: Elaboración propia

Tomando en cuenta que, al igual que San Pablo Macuilianguis, estas comunidades forman parte de la denominada Sierra de Juárez, lo que hace que tengan un estilo de vida y costumbres similares, se constata que la fracción orgánica es el principal

componente de los residuos, seguida por los pañales desechables y el PET. Debido a que en la mayoría de los casos estos residuos no reciben un tratamiento y disposición adecuados, al mezclarse con los demás residuos se convierten en un contaminante serio del suelo, el agua y el aire (Semarnat, 2017).

3. Tratamiento de agua residual: en términos generales, podemos afirmar que las PTAR no operan de manera adecuada. Por ello, se ha considerado iniciar, a la par, el diagnóstico y la asesoría de actividades dirigidas a rehabilitarlas, las cuales harán posible una mejora en su funcionamiento. En este sentido, se parte de la infraestructura con la que ya se cuenta. Por otra parte, será necesario llevar a cabo un plan de monitoreo que permita valorar la eficiencia de las plantas de tratamiento una vez que se hayan realizado los trabajos de rehabilitación y éstas se encuentren operando.

Asimismo, se realizó un diagnóstico de los procesos unitarios involucrados en el funcionamiento de las PTAR (tabla 2), mostrándose el estado actual de las instalaciones y las medidas a ser consideradas por las autoridades municipales.

Tabla 2.

Se muestran los instrumentos de control, automatización y medidas observados en el diagnóstico de las PTAR

Proceso u operación unitaria	Control o medida	Sistema de control o tipo de medida
Llegada	No hay mecanismo que permita la medición del caudal. No se cuenta con estructura que permita la regulación de flujo y la evacuación de excedencias.	Indicador y totalizador en cuarto de control.
Pretratamiento	No existen estructuras para llevar a cabo el pretratamiento de las aguas residuales.	Dispositivo mecanizado automatizado con indicador en cuarto de control.

Tratamiento biológico	El tratamiento empleado es un sistema de lagunas anaerobias y un humedal artificial.	Indicador y registrador en cuarto de control.
Cloración	No se efectúa este proceso en ninguna de las dos plantas de tratamiento.	Control manual o automático
Salida de agua tratada con calidad especificada	No hay laboratorio que determine su calidad de salida.	Con indicador y totalizador en cuarto de control.
Digestión aerobia	No se lleva a cabo este proceso.	Indicador y registrador en cuarto de control.
Secado mecánico	No se lleva a cabo este proceso.	Con totalizador en cuadro de control.
Bombeo	No se lleva a cabo este proceso.	Con totalizador en cuadro de control.

Conjuntamente con el diagnóstico y la medición de flujos, es necesario implementar en las PTAR una infraestructura de pretratamiento, la cual evitará la entrada de sólidos gruesos (trapos, madera, piedras, residuos sólidos voluminosos y arenas). Para ello se propone la construcción de un canal de entrada, en el que se efectúe el cribado de estos materiales. Aunado a ello se debe dar mantenimiento al lugar, estableciendo medidas de limpieza y drenaje de las fosas y tanques que componen las plantas de tratamiento.

5. Educación ambiental: se diseñó e implementó un programa municipal de educación ambiental cuyo objetivo fue sensibilizar a la ciudadanía de San Pablo Macuilianguis en la reducción del consumo de plásticos de un solo uso, la enseñanza de la separación de residuos de forma primaria (orgánica e inorgánica) y secundaria (pet, vidrio, metal, madera, aluminio, etc.) para hacer una disposición eficiente de los mismos en el sitio de disposición final (Pacheco-Suárez et al., 2022).

El programa de educación ambiental incluyó la realización de talleres en los que se abordó la temática de los residuos sólidos. Los mismos se diseñaron mediante cartas descriptivas y se implementaron en sesiones de máximo 90 minutos. Estuvieron dirigi-

dos a población estudiantil y docente de escuelas de primaria y secundaria, y atendieron un promedio de 30 niños de estos niveles por año lectivo (2018-2022). Asimismo, se realizaron dos visitas anuales a las PTAR y al sitio de disposición final de residuos con dichas instituciones académicas, con la finalidad de dar a conocer y comentar las acciones que se han realizado en estos años (Turro-Cobas, et al., 2017). Además, en 2018, 2019, 2021 y 2022 se impartieron talleres al cabildo municipal y a ciudadanos de la comunidad, alcanzando a un promedio de 30 personas por sesión.

Además de los talleres, el cabildo municipal (regiduría de medio ambiente) ha elaborado y colocado en la comunidad carteles, trípticos y letreros alusivos al manejo integral de residuos sólidos urbanos.

Conclusión

La comunidad de San Pablo Macuilianguis posee un importante acervo social, político, ambiental y cultural que debe ser preservado, cuidado y dado a conocer por las autoridades municipales y comunales siguientes. Estas últimas deben continuar realizando talleres de diagnóstico comunitario (nuevo cabildo), a fin de conocer la realidad y de atender las necesidades apremiantes de la población. Cabe señalar que las autoridades comunales sólo permanecen un año y medio en la gestión.

Aunado a ello, se debe fomentar y dar continuidad a la colaboración con la Universidad de la Sierra Juárez, a través de la Coordinación de Promoción del Desarrollo, para apoyar procesos de gestión ambiental.

Resulta palpable el hecho de que la comunidad ha contribuido de manera voluntaria a la rehabilitación de su sitio de disposición final y sus PTAR. Además, ha comenzado un proceso de educación ambiental comunitaria; esto demuestra que la organización social y la vida comunal son herramientas indispensables para el desarrollo sostenible.

Cabe señalar que la comunidad funciona siguiendo el principio de corresponsabilidad, pues la ciudadanía participa y expresa sus inquietudes en materia de gestión de residuos sólidos, tratamiento de aguas residuales y de la importancia de la educación ambiental comunitaria. En este sentido, el papel desempeñado por la Universidad de la Sierra Juárez plantea retos relacionados con el hecho de seguir fomentando la ciencia comunitaria, integrar equipos de estudiantes y profesores de diferentes áreas a fin de colaborar en los procesos de gobernanza y

sostenibilidad ambiental para disminuir la vulnerabilidad de la comunidad.

Si bien la gestión ambiental comunitaria es un proceso transformador, inacabado y permanente en el tiempo, sus resultados son sumas que transforman la conciencia y la realidad comunitarias.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo material y logístico de la comunidad de San Pablo Macuiltianguis y al cabildo municipal de los períodos 2017 a 2022, por su entrega y aportes a este trabajo.

Referencias

Brañes, Raúl (2010). Manual de Derecho Ambiental Mexicano México: FCE. 757 pp.

Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable (CM-DRS). (2012). *Plan de Desarrollo Municipal 2012- 2016. San Pablo Macuiltianguis*. Oaxaca de Juárez: Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable.

Cortés, P. M. (2012). *Propuesta de plan de manejo integral de los residuos sólidos urbanos en Santa Catarina Lachatao y San Juan Chicomezúchil, localidades del estado de Oaxaca*. Tesis de licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Diario Oficial de la Federación (DOF). NMX-AA-15-1985, PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO - RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES - MUESTREO - MÉTODO DE CUARTEO. Dirección General de Normas. Consultado el 31 de julio de 2023: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4724233&fecha=18/03/1985#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (DOF). NMX-AA-19-1985, PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES - PESO VOLUMÉTRICO "IN SITU". Dirección General de Normas. Consultado el 31 de julio de 2023: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4724233&fecha=18/03/1985#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (DOF). NMX-AA-022-1985, PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES SELECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTOS. Dirección General de Normas. Consultado el 31 de julio de 2023: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4724233&fecha=18/03/1985#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (DOF). NMX-AA-61-1985. DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE - CONTAMINACIÓN DEL SUELO - RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES - DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN. (D. G. Normas, Ed.) Dirección General de Normas. Consultado el 31 de julio de 2023: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4755518&fecha=08/08/1985#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (DOF). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)*. Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Consultado el 31 de julio de 2023: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=688657&fecha=08/10/2003#gsc.tab=0

López, M.M. (2018). *Programa municipal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos del municipio de Santa María Jaltianguis*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Martín Fernández I., (2008)., Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales a bajo costo para la localidad de Guelatao de Juárez, Oaxaca (México). Tesis de licenciatura., UPM, Madrid, España.

Metcalf y Eddy (1996)., Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Graw – Hill 3ª edición.

Mijangos-Ricárdez, O.F., Milla-Ramírez, V., Jiménez-Regalado, R. y Curiel-Olivera M.A. Evaluación de la generación de Residuos Sólidos Urbanos en el municipio de Natividad, Oaxaca. (2023) Ciencia y Mar XXVII (81), 23-29.

Pacheco-Suárez Y., Valdés-Hernández L. y Pacheco-Suárez Y. (2022). La Educación Popular Ambiental, un programa de capacitación para actores sociales. Rev. Mendeive, vol. 20, no. 3, Pinar del Río jul.- set.

Pérez, B.N. (2011). *Análisis de las condiciones en el manejo de residuos sólidos urbanos y propuesta de un plan de manejo integral para la localidad de Capulálpam de Méndez*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Santiago, P.B. (2013). *Propuesta de programa municipal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos (PMPGIRSU) de San Juan Evangelista Analco*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Santiago, C.G. (2014). *Propuesta de un plan de manejo de los residuos sólidos urbanos e identificación de sitios potenciales para la construcción de un relleno sanitario en la localidad de Nuevo Zoquiapam, Oaxaca*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017). Política y Estrategias para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos en México. En: http://siscop.inecc.gob.mx/novedades/politica_y_estrategias_gir.pdf

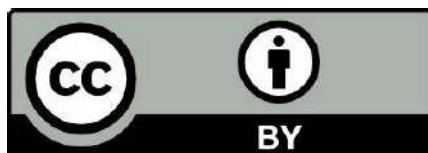
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Ciudad de México:

Cámara de diputados del H. Congreso de la unión.

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). (2017). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2017*. Subsecretaría de Planeación, Evaluación y Desarrollo Social. En: http://diariooficial.gob.mx/SEDESOL/2017/Oaxaca_296.pdf [Febrero 2018].

Turro-Cobas, G., Relaño-Rigual, L. y Silva-Salazar, (2017) A. Actividades para la educación ambiental comunitaria desde la extensión universitaria. *EduSol*, vol. 17, núm.61, pp.59-69.

Derechos de Autor© 2023 Mijangos-Ricárdez, Oscar Francisco., López-Luna, Jaime, Curiel-Olivera, Miguel Ángel,
Milla-Ramírez, Viridiana



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

Uso Del Modelo AERMOD para la estimación de la dispersión de material particulado proveniente de la industria ladrillera en la Zona Metropolitana De Oaxaca

Using AERMOD Model to estimate particulate matter dispersion from traditional brick links production in Oaxaca Metropolitan Area

Alan Fernando Mateos Zarate¹, Sandy-Edith Benitez García^{2*}, Francisco Hernandez-Ortega³, Abraham Ortiz-Alvarez⁴. DOI: 10.56643/rcia.v2i1.163

*Autor de correspondencia

Resumen

En la Zona Metropolitana de Oaxaca (ZMO), así como en otras áreas del país, se ha identificado la presencia de hornos ladrilleros que operan sin un sistema adecuado de control de emisiones y emplean diversos combustibles que contribuyen a generar altas concentraciones de contaminantes, como monóxido de carbono y material particulado. La falta de un adecuado sistema de monitoreo atmosférico conduce a la escasez de conocimiento con fundamento científico y técnico que permita la toma de decisiones que contribuyan a la adecuada solución de la problemática planteada. Para el desarrollo del presente estudio se realizó de un censo de ladrilleras artesanales en la ZMO, identificando coordenadas geográficas, dimensiones, horarios y combustibles utilizados en las quemaduras; luego se seleccionaron siete hornos representativos y distribuidos estratégicamente. Además, se estimaron las emisiones del material particulado considerando aquellos aplicativos de la compilación AP-42.

¹ Licenciado en Ingeniería Ambiental. Universidad la Salle Oaxaca, Escuela de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de Investigación Desarrollo e Innovación de aplicaciones STEAM, México/Coordinación de seguridad y protección ambiental de Gas de Oaxaca. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6655-5205>

² Doctora en Ciencias e Ingeniería Ambiental. Universidad la Salle Oaxaca, Escuela de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de Investigación Desarrollo e Innovación de aplicaciones STEAM, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0067-6046>. Correo electrónico: sandy.benitezgarcia@gmail.com

³ Maestro en Ingeniería. Subdirector de Modelación en la Coordinación General de Salud Ambiental del INECC, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0145-9016>

⁴ Doctor en Ciencias. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Coordinador General de Mitigación del Cambio Climático, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6465-3997>

Recibido: 31/10/2022 | Aceptado: 24/03/23 | Publicado: 31/05/2023

Los datos meteorológicos analizados corresponden al 1° de diciembre de 2016, en un horario entre las 06 y 18 UTC, generados a través del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) con una variación de la malla de dispersión de 20 metros hasta cinco kilómetros. Los datos fueron procesados en el Mesoscale Model Interface Program (MMIF), para continuar su tratamiento en el AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD). Una vez obtenidas las salidas de la modelación, se realizó la visualización con ayuda de los sistemas de información geográfica, logrando identificar las dimensiones de la dispersión del material particulado, así como las posibles áreas impactadas y los sitios en los que se detectan altas concentraciones.

Palabras clave: Industria ladrillera, AERMOD, material particulado, modelos de simulación numérica.

Abstract

In the Oaxaca Metropolitan Area (ZMO), as well as other metropolitan areas of the country, the presence of traditional brick kilns without emission control systems and a variety of fuels employed as energy sources for brick firing have been notorious through the last decades. The above promotes high concentrations of pollutants such as carbon monoxide and particulate matter. On the same way, a lack of atmospheric monitoring systems with an adequate quality control of information leads to a lack of knowledge with scientific and technical support for decision makers that contributes to planning solutions. In the present work a special census was taken in the ZMO, among others it was identified: geographical coordinates of traditional brick kilns, dimensions, periods of work and fuel used. Seven representative brick kilns were selected, due to their locations in the study area, to estimate the emissions of particulate matter considering those from AP-42 compilations. Meteorological data used were from December 1st 2016, from 06 to 18 UTC and generated through the Weather Research and Forecasting Model (WRF) considered a grid dispersion from 20 m up to 5 km. Data were processed in the Mesoscale Model Interface Program (MMIF) to continue processing with AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD). Once the modeling results were obtained, the visualization was done by geographic information system to identify the particulate matter dispersion as well as the potential impacted areas and those sites with significant high concentrations.

Keywords: traditional brick kilns, AERMOD, particulate matter, numerical simulation models.

Cómo citar este artículo: Mateos-Zárate, A. F., Benítez-García, S.-E., Hernández-Ortega, F., & Ortíz-Alvarez, A. (2024). Uso Del Modelo AERMOD para la estimación de la dispersión de material particulado proveniente de la industria ladrillera en la Zona Metropolitana De Oaxaca. *Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura*. 2(1). 29-48. DOI: <https://doi.org/10.56643/rcia.v2i1.163>

Introducción

La mala calidad del aire ocasionada por una gran diversidad de Notas antropogénicas constituye una problemática importante a nivel nacional y mundial, tanto desde el punto de vista medioambiental como de salud pública; además, es de las problemáticas más difíciles de vislumbrar, valorar, regular y controlar a través de normas. De acuerdo con INECC y Semarnat (2018), ello responde a la gran cantidad y diversidad de Notas de emisión, la química atmosférica y los efectos de los gases y partículas contaminantes en la salud del ser humano y los ecosistemas. La Organización Mundial de la Salud (2022) estima que 99% de la población a nivel global respira un aire cuya calidad es deficiente, con una concentración de partículas contaminantes por encima de los límites máximos permisibles, lo cual hace que la salud de los pobladores se encuentre en riesgo. Se estima que cada año se producen 4.2 millones de muertes prematuras debido a la exposición a material particulado menor o igual a 2.5 micrones (PM_{2.5}), al tiempo que también se producen enfermedades cardiovasculares y respiratorias (OMS, 2018).

En las últimas décadas, las elevadas concentraciones de contaminantes generados y emitidos a la atmósfera por la industria ladrillera en el estado de Oaxaca, han hecho que esta problemática cobrara relevancia (IEEDS, 2013). En 2013, el Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable (IEEDS) identificó la operación de 147 hornos de fabricación de ladrillo rojo en la zona metropolitana de Oaxaca (ZMO), mismos que registran la siguiente distribución en los municipios de esta zona: San Agustín Yatarién (71 hornos), San Andrés Huayapam (6), San Sebastián Tutla (16), Santa Cruz Amilpas (4), Santa Lucía del Camino (16) y la Agencia de San Francisco Tutla, perteneciente a Santa Lucía del Camino (30). Se constató que dichos hornos carecen de planeación y regulación, como también de un sistema adecuado

de control de emisiones; asimismo, éstos emplean como combustibles residuos sólidos urbanos, por ejemplo, llantas, plásticos, aserrín, madera, etc., los cuales provocan diferentes efectos en la salud como consecuencia de las emisiones generadas, y contribuyen en un 6, 13 y 18% a las emisiones de monóxido de carbono (CO) y material particulado menor o igual a 10 micrómetros (PM₁₀) y PM_{2.5} en la ZMO (Tejeda Le Blanc & Cia., S.C. LT Consulting, 2011).

Aunado a lo anterior, los trabajos de investigación realizados en el estado de Oaxaca para ampliar el conocimiento sobre la dispersión y el impacto de los contaminantes generados por la industria ladrillera artesanal son escasos. Por lo que, la generación de conocimiento que permita la planeación y ejecución de estrategias para la mitigación de los efectos producidos por esta actividad debería ser significativa. El estado de Oaxaca cuenta solamente con dos estaciones de monitoreo de la calidad del aire, identificadas como Casa Hogar y CEDART, las cuales se encuentran ubicadas en el municipio de Oaxaca de Juárez. Debido a su ubicación (a aproximadamente cinco a seis kilómetros de la zona de estudio) y desempeño (INECC y Semarnat, 2018), dichas estaciones resultan insuficientes para monitorear los contaminantes generados y los efectos de las actividades citadas. Como ocurre con otros Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire (SMCA) existentes en el país, en la ZMO existe déficit de información debido a la falta de operación, mantenimiento y calibración de las estaciones de monitoreo, además de que la validación de los datos no se realiza de manera periódica y sistemática (INECC y Semarnat, 2018). Parte de las irregularidades detectadas responde a los altos costos de mantenimiento de los SMCA, a lo que se suma que todo el proceso de establecimiento de una estación de monitoreo requiere una inversión alta de recursos, tanto económicos como humanos. Ello ha hecho que una gran variedad de áreas en nuestro país haya quedado faltas del conocimiento de los impactos provocados por diversas actividades antropogénicas que generan elevados niveles de emisiones de contaminantes a la atmósfera; tal es el caso del estado de Oaxaca. Debido a lo mencionado anteriormente, algunas metrópolis mexicanas, entre ellas la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Guanajuato, han optado por el uso de diversos modelos matemáticos para coadyuvar al estudio y la predicción de las emisiones, así como de los efectos ocasionados por diversas Notas contaminantes, fortaleciendo con esto la gestión de la calidad del aire (Mendoza y García, 2009).

En las últimas décadas se ha desarrollado una gran cantidad de modelos de simulación numérica que permiten llevar a cabo la estimación de las concentraciones de diversos contaminantes arrojados a la atmósfera por una o más Notas de emisión; éstos consideran escenarios variados, además de ciertas restricciones en función de distintas condiciones, como son las meteorológicas, topográficas y las propias de las concentraciones de la Nota. De acuerdo con la United States Environmental Protection Agency, para guiar investigaciones y políticas públicas en Estados Unidos, se utilizan diversos modelos, dado que éstos proveen información extensa que puede impactar diversas decisiones (US-EPA, 2023). Tomando en cuenta la rapidez en la obtención de respuestas, además del factor económico, se prefiere el uso de estos métodos, que pueden ser empleados en zonas donde no existe la posibilidad de realizar monitoreos continuos. Aunado a lo anterior, se han realizados esfuerzos significativos para mejorar el desempeño de los modelos y ampliar su espectro de uso (US-EPA, 2023). Cabe mencionar que, en países como Chile, los modelos de simulación constituyen una herramienta útil para estimar concentraciones de contaminantes atmosféricos y evaluar su impacto en la calidad del aire en diversas fases de los proyectos (construcción, operación y cierre) descritos y sometidos a una evaluación de impacto ambiental (SEA, 2023).

Por lo anterior, en la presente investigación se realiza el análisis de las demandas de *hardware* y de *software* inherentes a la aplicación del modelo AERMOD, que permite estimar la dispersión de los contaminantes atmosféricos (específicamente de material particulado) emitidos por la industria ladrillera en la ZMO, con la finalidad de plantear estrategias a futuro para mitigar los efectos generados por dicha industria.

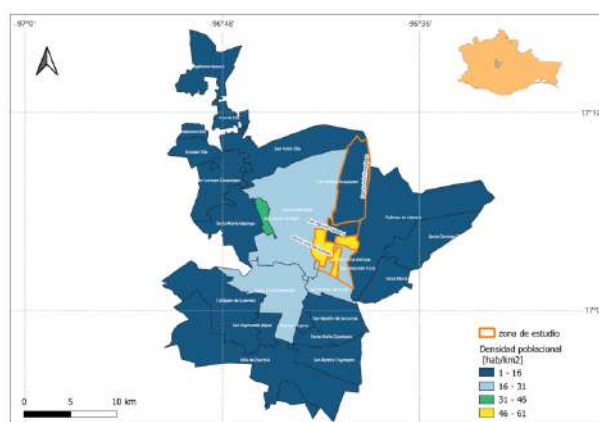
Materiales y métodos

Selección del sitio de estudio

Para seleccionar el sitio de estudio, se realizaron recorridos en campo en cinco municipios y una agencia municipal de la ZMO, con el propósito de identificar los diversos hornos ladrilleros, así como su georreferenciación empleando el programa Google Earth Pro, tomando como base la información descrita por el IEEDS en 2013 y el último inventario realizado en el estado al momento de la realización de la presente investigación por Tejeda Le Blanc & Cia., S. C. LT

Consulting (2011) en San Agustín Yatarení, San Andrés Huayapam, San Sebastián Tutla, Santa Cruz Amilpas, Santa Lucía del Camino y la Agencia de San Francisco Tutla, perteneciente a Santa Lucía del Camino. La zona posee una extensión territorial de 120.39 kilómetros cuadrados, una población total de 90 138 habitantes y el uso de suelo es predominante en zona urbana y asentamientos humanos (INEGI, 2020). En la figura 1 se muestra la organización territorial de la ZMO, así como la delimitación de la zona de estudio.

Figura 1.
Zona Metropolitana de Oaxaca y delimitación del área de estudio



Nota: elaboración propia con datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2023).

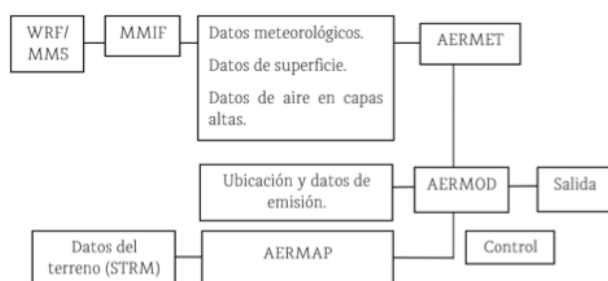
Configuración del modelo

Se aplicó el *software* AERMOD (American Meteorology Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model), un modelo de dispersión de penacho gaussiano que considera tanto estados convectivos como estacionarios para Notas puntuales, asumiendo que la dispersión de la concentración tiene una distribución gaussiana horizontal y vertical (EPA, 2003). El modelo se utilizó para llevar a cabo cálculos de las emisiones hacia el aire de sustancias contaminantes procedentes de la actividad industrial de fabricación de ladrillos en la ZMO, dado que los hornos asociados fueron identificados como puntos específicos de emisión de contaminantes. Entre los modelos ampliamente recomendados por la US Environmental Protection Agency desde 2006, encontramos AERMOD; éste trabaja bajo los principios de código abierto y posee un desempeño supe-

rior al de diversos modelos de simulación numérica al ser evaluado con bases de datos experimentales. Además, ha sido creado para correr con un mínimo de parámetros meteorológicos observados (EPA, 2023).

El modelo consta de dos preprocesadores y el modelo de dispersión. El preprocesador de terreno aermap ayuda a caracterizar el sitio de estudio (uso de suelo y suelo), mientras que el preprocesador aermet provee la información meteorológica necesaria para caracterizar la capa límite planetaria. Ambos preprocesadores contribuyen a generar la malla receptora para el modelo receptor aermod. En este último se determina la ubicación de la Nota y los datos de emisión del contaminante, permitiendo la generación de datos de salida, como puede verse en la figura 2. Las corridas del modelo se realizaron en un dispositivo con procesador Intel(R) Core (TM) i7-6560U cpu de 16 GB de ram y Microsoft Windows 10.

Figura 2.
Configuración del modelo AERMOD



Nota: Reproducido de “Evaluación de la aplicación del modelo AERMOD para estimación de contaminantes atmosféricos emitidos por la industria ladrillera en Oaxaca” por Mateos (2023), [Reporte de Investigación, Universidad La Salle Oaxaca]. Repositorio Académico ULSA Oaxaca. Reproducido con permiso del autor.

El preprocesador AERMAP facilita la obtención de las elevaciones, tanto para la malla de interés como para cada una de las Notas emisoras; al mismo tiempo, se determinan estas altitudes mediante el procesamiento de una imagen satelital del STRM3 (Shuttle Radar Topography Mission9), con el objetivo de obtener datos precisos relativos a la altura sobre el nivel del mar. De esta manera se procesaron dos archivos (N16W097.hgt/N17W097.hgt) correspondientes a la ZMO, obtenidos de la base de datos STRM3 en el programa 3DEM a un archivo digital de elevación (.DEM) con una proyección UTM.

Se definieron los datos obtenidos en el ejecutable AERMAP, como también la ubicación del archivo DEM generado, la ubicación geográfica de la zona de estudio (dominio), las coordenadas de los hornos estudiados, la variación de la malla de dispersión (establecida desde 20 metros sobre el nivel de la superficie hasta cinco kilómetros) y el archivo de salida AERMAP.REC utilizado para el módulo AERMOD.

Los datos meteorológicos se obtuvieron del modelo de pronóstico de clima Weather Research and Forecasting (WRF) y se procesaron en Mesoscale Model Interface Program (MMIF) para su utilización en AERMOD. Se obtuvieron dos archivos de salida correspondientes a los datos meteorológicos del 1° de diciembre de 2016 para el dominio de la ZMO, en un periodo entre las 11 y 23 horas tiempo local estándar (TLS), durante el cual se llevaron a cabo procedimientos de cocción del ladrillo de manera convencional en la región de investigación. El periodo de estudio se definió con base en la información meteorológica disponible para su utilización con WRF, además de ser un mes en que se tienen episodios significativos de estabilidad atmosférica, que favorecen la aplicación del modelo.

La configuración del módulo AERMOD se realizó en un archivo (.inp); se definieron las características del contaminante a ser evaluado (material particulado), a saber, vida media (HALFLIFE), tasa de emisión (QS) determinada por factores de emisión del apéndice AP-42 de la US-EPA y las dimensiones de la chimenea del horno ladrillero, obtenidas en los censos en campo, las rutas de entrada obtenidas mediante AERMAP y AERMET, obteniéndose los datos correspondientes para la modelación en el archivo UBICAREC.

Visualización del modelo

Los resultados obtenidos con AERMOD fueron utilizados para crear un archivo que contenía las coordenadas y las concentraciones estimadas para cada hora durante el periodo establecido. Estos archivos se introdujeron en el *software* ArcGIS v.10.4.1 para Sistemas de Información Geográfica, donde fueron procesados mediante la herramienta de interpolación IDW. Este paso permitió visualizar la dispersión de material particulado emanado de los hornos de fabricación de ladrillos analizados.

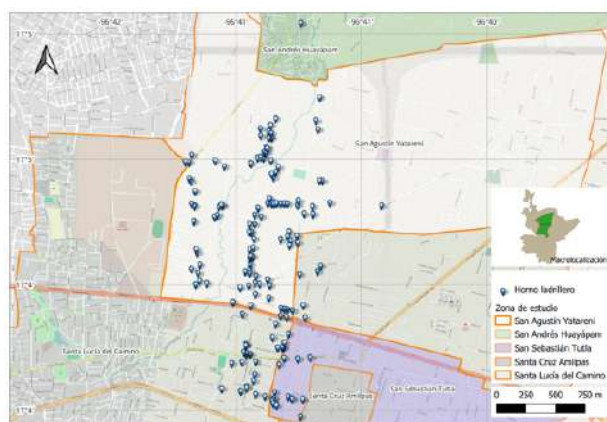
Resultados

Distribución espacial de hornos ladrilleros en la ZMO

En los cinco municipios estudiados se identificó la presencia de 165 hornos ladrilleros. La figura 3 muestra la localización georreferenciada de los hornos registrados en diversos recorridos de campo. En dicha imagen se logra observar que la mayor cantidad de hornos se concentra en el municipio de San Agustín Yatareni (119), seguido por Santa Lucía del Camino (30), San Sebastián Tutla (15), San Andrés Huayapam (1). En Santa Cruz Amilpas no se identificó evidencia de que existiera alguno (Mateos, 2023).

Figura 3

Ubicación geográfica de hornos ladrilleros identificados



Nota: adaptado de “Evaluación de la aplicación del modelo AERMOD para estimación de contaminantes atmosféricos emitidos por la industria ladrillera en Oaxaca” por Mateos (2023), [Reporte de Investigación, Universidad La Salle Oaxaca]. Repositorio Académico ULSA Oaxaca. Adaptado con permiso del autor.

Configuración espacial de los hornos de fabricación de ladrillos analizada a través de AERMOD

Los hornos estudiados fueron distribuidos en forma sistemática dentro de la ZMO, considerando una representación de todos los sectores de la zona

urbana, producción de ladrillo, capacidad del horno, consumo y uso combustible, predominando el uso de aserrín de pino amarillo, tiempo de cocción (combustión) y prácticas de los artesanos ladrilleros (Mateos, 2023). Se realizaron las corridas de modelación para siete hornos ladrilleros distribuidos en las ubicaciones mostradas en la tabla 1, cuatro de ellos en San Agustín Yatareni, dos en Santa Lucía del Camino y uno en San Sebastián Tutla, con la finalidad de tener una distribución representativa en el área de estudio (Mateos, 2023).

Tabla 1

Geolocalización de los hornos ladrilleros seleccionados

Horno	Coordenadas geográficas			Municipio
	Latitud	Longitud	El-elevación (msnm)	
1	17.071	-96.685	1556	Santa Lucía del Camino
2	17.085	-96.689	1595	San Agustín Yatareni
3	17.076	-96.691	1566	
4	17.070	-96.693	1559	
5	17.083	-96.692	1588	
6	17.065	-96.689	1552	Santa Lucía del Camino
7	17.061	-96.687	1547	San Sebastián Tutla

msnm: metros sobre el nivel del mar

Nota: adaptado de “Evaluación de la aplicación del modelo AERMOD para estimación de contaminantes atmosféricos emitidos por la industria ladrillera en Oaxaca” por Mateos (2023), [Reporte de Investigación, Universidad La Salle Oaxaca]. Repositorio Académico ULSA Oaxaca. Adaptado con permiso del autor.

Determinación de la velocidad de emisión

La velocidad de emisión resultante se determinó mediante la aplicación de la ecuación I, que implica el cálculo del producto entre el dato de consumo de la actividad o combustión de comburente por el factor de emisión. En este caso, se emplearon los factores de emisión obtenidos del documento AP-42,

sección 1.9-4 de la EPA (1993), clasificados como B y superiores al promedio según los estándares de la EPA para Notas puntuales y de área.

$$E = A \times FE(1 - \frac{ER}{100}) \quad (\text{ecuación I})$$

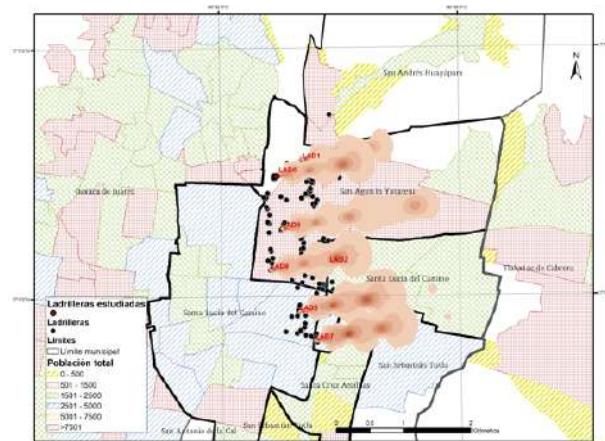
en donde la emisión es calculada en g/s, el factor A representa el dato de consumo de la actividad (consumo de combustible, producción) en las unidades adecuadas de masa o volumen por un tiempo determinado, el factor de emisión FE (considerando g/kg) y la eficiencia global de reducción de emisiones representada por ER (%).

Se consideró que la producción promedio de ladrillos en la zmo asciende a 15 000 ladrillos por día, lo cual se estableció con base en el censo y las entrevistas realizadas a los productores de los sitios documentados en la investigación de campo (Mateos, 2023). De igual forma, se estimó el tiempo requerido para la cocción y el enfriamiento en el horno ladrillero (para mayores detalles de las características consideradas, véase Mateos, 2023). A partir de lo anterior, se estimó que se requieren aproximadamente 1 260 kilocalorías para llevar a cabo el proceso de producción de un ladrillo de 2.2 kilogramos con aserrín de pino amarillo (*Pinus Patula* Schl et Cham), especie más extendida y de mayor importancia económica en Oaxaca de acuerdo con Castellanos y Treviño (2006). Además, se consideró un contenido de humedad en la madera de 25%, por lo que al realizar los cálculos necesarios se obtuvo una velocidad de emisión de 87.85 kilogramos de PM10 por día.

Visualización de datos obtenidos por AERMOD

En esta sección se presentan los resultados del modelo correspondientes a las 11 horas TLS del 1° de diciembre de 2016 (figura 4). Estos resultados indicaron concentraciones que variaron desde los 4.83×10^{-12} kg/m³ como valor mínimo hasta 1.10×10^{-4} kg/m³ como valor máximo promedio en esa hora. Se observó una dispersión que se extendía por encima de los dos kilómetros desde la Nota de emisión, como se ilustra en la figura 4. Esta dispersión afectó a los municipios de San Agustín Yatareni, San Sebastián Tutla y Santa Lucía del Camino, cuyas poblaciones van desde 5 521 hasta 50 362 habitantes de acuerdo con INEGI (2023), como es el caso del último municipio mencionado.

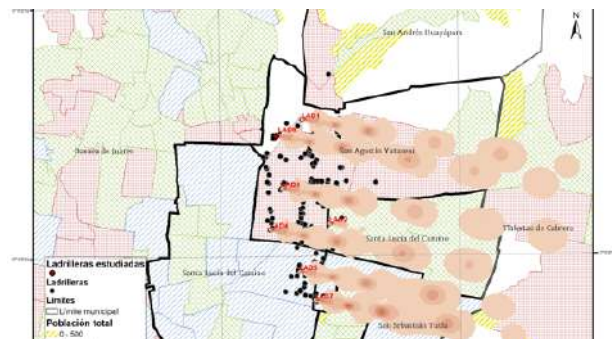
Figura 4
Representación gráfica de la dispersión de material particulado PM₁₀ a las 11 horas TLS



Nota: reproducido de “Evaluación de la aplicación del modelo aermod para estimación de contaminantes atmosféricos emitidos por la industria ladrillera en Oaxaca” por Mateos (2023), [Reporte de Investigación, Universidad La Salle Oaxaca]. Repositorio Académico ULSA Oaxaca. Reproducido con permiso del autor.

Durante el mediodía del 1° de diciembre de 2016, las concentraciones de material particulado registradas en el modelo oscilaron entre 3.23×10^{-9} kg/m³ como valor mínimo y 9.71×10^{-5} kg/m³ como valor máximo promedio durante esa hora. La dispersión se extendió aproximadamente hasta cuatro kilómetros en dirección sureste desde la Nota de emisión, impactando municipios como Tlaxiá de Cabrera, sobre todo por las emisiones de las ladrilleras identificadas como 2, 3 y 5, localizadas en los límites de San Agustín Yatareni, como se visualiza en la figura 5. Cabe destacar que, de acuerdo con INEGI (2023), Tlaxiá de Cabrera alberga una población total de 12 067 habitantes. La simulación registrada a la hora mencionada afectó a todos los municipios bajo estudio, excepto a San Andrés Huayapam.

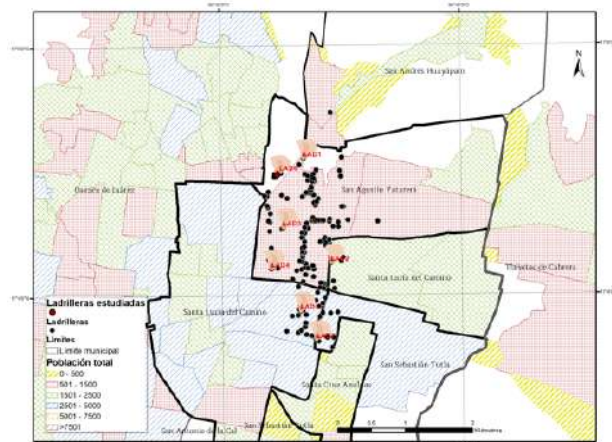
Figura 5.
Representación gráfica de la dispersión de material particulado PM10 al mediodía del 1° de diciembre de 2016



Nota: reproducido de “Evaluación de la aplicación del modelo AERMOD para estimación de contaminantes atmosféricos emitidos por la industria ladrillera en Oaxaca” por Mateos (2023), [Reporte de Investigación, Universidad La Salle Oaxaca]. Repositorio Académico ULSA Oaxaca. Reproducido con permiso del autor.

Para las concentraciones obtenidas por el modelo a las 18 horas TLS, se observaron concentraciones máximas de $2.19 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$ y valores mínimos de $1.5 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3$. Se subraya la presencia de concentraciones elevadas a lo largo de una extensión de 100 metros, como se evidencia en la figura 6, donde la dispersión del material particulado se centraliza en las proximidades de las Notas con una orientación hacia el noreste.

Figura 6.
Representación gráfica de la dispersión de material
particulado PM10 a las 18 horas TLS



Nota: Reproducido de “Evaluación de la aplicación del modelo AERMOD para estimación de contaminantes atmosféricos emitidos por la industria ladrillera en Oaxaca” por Mateos (2023), [Reporte de Investigación, Universidad La Salle Oaxaca]. Repositorio Académico ULSA Oaxaca. Reproducido con permiso del autor.

Del mismo modo que con los datos presentados previamente, se extrajeron los resultados correspondientes a las diferentes horas del periodo de modelado, lo que permitió identificar que las áreas más afectadas se ubican al este de la ZMO. Para consultar otras horas de estudio remitirse a Mateos (2023).

Discusión

De acuerdo con el censo llevado a cabo durante la investigación y la información proporcionada por el Instituto Estatal de Ecología y Cambio Climático de Oaxaca en 2013, la disposición y la cantidad de hornos ladrilleros existentes en la Zona Metropolitana de Oaxaca muestran valores que evidencian un aumento de 10.9%. Según Mateos (2023), se identificaron 165 hornos en funcionamiento, lo que supera los 147 hornos registrados en 2013. Esta distribución incluye 119 hornos en San Agustín Yatareni (72.1%), 30 en Santa Lucía del Camino (18.2%), 15 en San Sebastián Tutla (9.1%), uno en San Andrés Huayapam (0.6%), mientras que en Santa Cruz Amilpas no se detectó la presencia de ningún horno ladrillero. Un censo institucional realizado por las autoridades municipales podría dar certeza del número de hornos en operación.

De acuerdo con INEGI (2023), el número de pobladores que reside en los municipios analizados en la Zona Metropolitana de Oaxaca oscila entre los 5 521 y los 50 362 habitantes en los municipios de San Agustín Yatareni y Santa Lucía del Camino, respectivamente. Esto destaca la importancia de atender las emisiones provenientes de la industria ladrillera, ya que debido a su ubicación podría tener impactos importantes en zonas cercanas, sobre todo en condiciones de estabilidad atmosférica.

Conclusiones

La evaluación del modelo AERMOD se estimó con base en los datos meteorológicos WRF correspondientes al jueves 1° de diciembre del 2016 entre las 11 y las 23 horas tiempo local estándar. Los resultados de este estudio (detallado en Mateos, 2023) sobre el uso de un modelo de simulación numérica en la industria ladrillera del estado de Oaxaca brinda la oportunidad de comprender y evaluar la aplicación del modelo AERMOD, considerando las capacidades tecnológicas de *hardware* y *software* disponibles. Es importante destacar que las concentraciones de material particulado obtenidas en la simulación fueron

calculadas mediante factores de emisión y a partir de datos recopilados en el recorrido de campo, por lo que deben ser interpretadas como estimaciones y no como representaciones precisas de la realidad (Mateos, 2023). Este análisis permite identificar la dispersión de contaminantes atmosféricos y evaluar posibles impactos ambientales y en la salud de la población en la Zona Metropolitana de Oaxaca. En consecuencia, se establecen bases para investigaciones futuras y la aplicación de la metodología descrita. Además, se presentan oportunidades para las autoridades estatales y municipales, que carecen de recursos técnicos, científicos y tecnológicos en asuntos ambientales. El uso del modelo propuesto como herramienta de estimación podría contribuir a establecer un sistema de alerta temprana. Se sugiere continuar la investigación y aplicación de esta metodología una vez que se disponga de una base de datos meteorológicos confiable y de mediciones en campo de emisiones reales de la industria ladrillera para validar estadísticamente el modelo (Mateos, 2023).

Referencias

Castellanos, J., y Treviño, E. (2006). Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera bosques*, 14(2), 51-63.

EPA (2003). AERMOD: Latest Features and Evaluation Results. U.S. Environmental Protection Agency; AERMOD_MEP.

EPA (2023). AERMOD: Model Formulation. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division.

INECC y Semarnat (2018). Informe Nacional de Calidad del Aire 2017, México (No. 1; p. 317). Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023, diciembre 10). *Censos y conteos de población y vivienda, censo 2020*. <https://inegi.org.mx/datosabiertos/>

Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable (2013). Estudio de Factibilidad Legal, Ambiental, Social y Económica para reducir o evitar las emisiones a la atmósfera del Sector Ladrillero en la Zona Metropolitana de Oaxaca. (No. 1; Diagnóstico Ambiental, p. 30). Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable; Diagnóstico Ambiental.

Mateos Zarate, A. F. (2023). Evaluación de la aplicación del modelo AERMOD para estimación de contaminantes atmosféricos emitidos por la industria ladrillera en Oaxaca. [Reporte de Investigación, Universidad La Salle Oaxaca]. Repositorio Académico ULSA Oaxaca.

Mendoza, A., y García, M. (2009). Aplicación de un modelo de calidad del aire de segunda generación a la zona metropolitana de Guadalajara, México. *Rev. Int. Contam. Ambiental*, 25(2), 73-85.

OMS, Organización Mundial de la Salud (2018, junio 23). Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado. <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

SEA, Servicio de Evaluación Ambiental, Gobierno de Chile (2023). *Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el Servicio de Evaluación Ambiental* (p.16). Segunda edición.

Tejeda Le Blanc, & Cia., S.C. LT Consulting (2011). *Inventario de emisiones de gases criterio para el estado de Oaxaca* (p. 90). Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable.

US-EPA (2023, noviembre 13). Method Validation and Peer Review Policies and Guidelines. <https://www.epa.gov/measurements-modeling/method-validation-and-peer-review-policies-and-guidelines>

Derechos de Autor© 2023 Alan Fernando Mateos Zárate, Sandy-Edith Benítez-García, Francisco Hernández-Ortega, Abraham Ortinez-Alvarez



Este texto está protegido por una licencia Creative Commons 4.0. Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra. Resumen de licencia - Texto completo de la licencia

