

Análisis bibliométrico: Caso de estudio, Palo Colorado. Un Enigma de la Situación Socioambiental Hídrica en el Estado de Guanajuato

Núñez Vázquez Arely de Jesús¹, Espinoza Rodríguez David Antonio¹, Rivera Duarte Monserrat¹, Guerrero Aguilar Armando², Medina Mejía Ma. Guadalupe³, Gutiérrez Ortega N.L.^{3*}, Serafín Muñoz Alma Hortensia^{3*}

¹Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

²Posgrado de Ciencia y Tecnología del Agua, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

³Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

{adj.nunezvazquez¹, da. Espinozarodriguez¹, m.riveraduarte¹}@ugto.mx; aguerreroaguilar@ugto.mx; normagut@ugto.mx;

* sermuah@ugto.mx

Resumen

La calidad del agua en comunidades marginadas del estado de Guanajuato, México, representa un desafío crítico de salud pública, especialmente en aquellas que no cumplen con los estándares establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021. Este estudio se centra en la comunidad de Palo Colorado, ubicada en el municipio de San Felipe, mediante una revisión exhaustiva de fuentes bibliográficas y reportajes periodísticos, los hallazgos revelan una preocupante correlación entre la contaminación del agua y del suelo con la prevalencia de trastornos mentales entre los habitantes. Sin embargo, una hipótesis alternativa, plantea la posible incidencia de relaciones incestuosas dentro de la comunidad como otro factor contribuyente a esta compleja problemática. Este trabajo subraya la necesidad de investigaciones interdisciplinarias que exploren las interacciones entre factores ambientales y socioculturales, con el fin de comprender integralmente los determinantes de la salud en comunidades vulnerables y buscar soluciones efectivas.

Palabras clave: Palo Colorado, contaminación de agua, metales, economía circular.

Abstract.

Water quality in marginalized communities in the state of Guanajuato, Mexico, represents a critical public health challenge, especially in those that do not meet the standards established by the Official Mexican Standard NOM-127-SSA1-2021. This study focuses on the community of Palo Colorado, located in the municipality of San Felipe. Through an exhaustive review of bibliographic sources and newspaper reports, the findings reveal a worrisome correlation between water and soil contamination and the prevalence of mental disorders among the inhabitants. An alternative hypothesis, however, raises the possible incidence of incestuous relationships within the community as another contributing factor to this complex problem. This work underscores the need for interdisciplinary research that explores the interactions between environmental and sociocultural factors to comprehensively understand the determinants of health in vulnerable communities and seek effective solutions.

Key words: Palo Colorado, inhabitants, mental disorders, water pollution, metals, Guanajuato.

Introducción.

La situación de la contaminación del agua en comunidades marginadas, especialmente en lugares como Guanajuato, México, es un grave problema de salud pública y justicia ambiental (Osuna-Martínez *et al.*, 2021). Varias comunidades carecen de infraestructura adecuada para el suministro de agua potable y el tratamiento de aguas residuales, lo que las expone a fuentes de agua contaminadas con desechos industriales, agrícolas y domésticos (Rodríguez Castrejón *et al.*, 2018). La sobreexplotación de los acuíferos para satisfacer la demanda de sectores industriales y urbanos, junto con la descarga de contaminantes sin tratamiento, provoca que el agua que finalmente llega a estas comunidades esté cargada de metales pesados, microorganismos patógenos y otros químicos, superando los límites establecidos por las normativas de calidad del agua. Esta exposición crónica a agua insalubre tiene consecuencias directas en la salud, manifestándose en una alta incidencia de enfermedades gastrointestinales, problemas de piel y, como se ha observado, incluso trastornos neurológicos y de salud mental, creando un ciclo de vulnerabilidad y afectación integral para sus habitantes (Bautista-Olivas *et al.*, 2014; Riojas, n.d.).

Además de las actividades antropogénicas, el agua puede contaminarse naturalmente con metales pesados y metaloides al pasar por acuíferos rodeados de rocas que los contienen. La contaminación por arsénico total inorgánico (iAs) y fluoruro (F⁻) disueltos en agua subterránea destinada a consumo humano, es un problema epidémico en el mundo (Nava-Reyna & Medrano-Macías, 2022). La exposición crónica a concentraciones de As en agua significativamente mayores a 0.05 mgL⁻¹ resulta en serios problemas de salud epidérmicos, cardiovasculares, renales, hematológicos y respiratorios (Barajas *et al.*, 2022). Mientras que, en el caso del fluoruro, su consumo en concentraciones significativamente mayores a 1.5 mgL⁻¹ causa problemas de fluorosis dental y esquelética, desarrollando una mayor susceptibilidad a enfermedades renales y cáncer (WHO, 2004), así como afectación al desarrollo del cerebro humano, reduciendo, entre otros efectos, el coeficiente intelectual (IQ) de niños en edad escolar (Fitzgerald *et al.*, 2020).

La comunidad de Palo Colorado es perteneciente al Municipio de San Felipe, Guanajuato. Cuenta con 465 habitantes y se encuentra a 2,440 metros sobre el nivel del mar. Es el cuadragésimo cuarto pueblo más poblado de todo el municipio, colindando con Sierra de Lobos, Dolores Hidalgo y San Diego de la Unión. (Coordinación Estatal de Protección Civil). Se encuentra en la cuenca hidrológica Lerma-Santiago-Chapala. Esta comunidad enfrenta condiciones de pobreza significativas y un fuerte estigma social. La prevalencia de trastornos mentales en una proporción tan alta de la población joven sugiere una problemática subyacente grave. Una de las hipótesis principales, y que se investigó, apunta a los posibles efectos adversos en la salud derivados de la ingesta de agua contaminada por metales y/o metaloides (Moser *et al.*, 2021; Páez-Osuna *et al.*, 2024). La presencia de contaminantes en el suministro de agua podría ser un factor crítico que contribuye a las condiciones de salud de los habitantes de Palo Colorado.



Figura 1: Código postal de Palo Colorado, San Felipe, Guanajuato (Fuente: Leaflet, n.d.).

Aunque, el componente genético podría ser la fuente de estos problemas. Varios trabajos reconocen que, si bien los metales presentes en el agua pueden contribuir a alteraciones como las observadas, considera que el origen principal de los padecimientos podría residir en otras causas, ya que depende de las características de la comunidad, la endogamia, por ejemplo, podría ser un factor clave, haciendo necesario un estudio genético. El padecimiento se describe como autosómico recesivo, lo que significa que un individuo debe heredar el gen afectado de ambos padres para desarrollar el trastorno o la enfermedad. Mediana Aguado explicó que, si ambos padres son portadores del gen, existe una probabilidad del 25% de que sus hijos nazcan con la enfermedad, un 25% de que nazcan sanos, y un 50% de que sean portadores sanos (Rishan et al., 2024). El presente trabajo tiene como objetivo integrar y analizar la información referente a la situación actual de la problemática socioambiental de la comunidad de Palo Colorado, San Felipe Gto.

Metodología.

ETAPA 1: Búsqueda de referencias bibliográficas.

A partir de diferentes plataformas en línea y bases de datos como Google Académico®, Web of Science®, Mendeley® y páginas de noticias; se realizó una búsqueda de artículos y/o documentación que, a nuestro criterio, se consideró como relevante y representativa de la problemática en zonas marginadas del estado de Guanajuato.

Se trató de buscar información relacionada con la comunidad “Palo Colorado”, ubicada en el municipio de San Felipe. También se consideró agregar documentos relacionados en zonas colindantes con la comunidad, como puede ser cuerpos de agua que sufran cierto grado de contaminación y afectan a la comunidad o a indicios de problemas de salud que permitan suponer presencia de un contaminante.

ETAPA 2: Agrupación de las referencias bibliográficas en Mendeley Reference Manager®.

Toda la documentación y artículos se organizaron por medio del software Mendeley Reference Manager®. Se utilizó la versión de escritorio y esta herramienta fue esencial para poder almacenar y posteriormente convertir en formato RIS (Research Information Systems) los datos bibliográficos, debido a que la exportación de los documentos en formato RIS permite crear el mapa VOSviewer. No obstante, exigía de al menos 400 referencias bibliográficas para que el mapa fuera lo más completo y representativo posible en relación con el tema.

ETAPA 3: Análisis bibliométrico con VOSviewer®.

Gracias al programa de VOSviewer®, permitió la creación de un mapa que contenía una red de las palabras clave (*key words* en inglés) con mayor uso dentro de la documentación recopilada, que esto también se le conoce como co-ocurrencia de términos. De igual manera relacionaba un término con otro para notar de manera visual y sencilla las uniones que representan patrones en común y la relación que tienen entre sí.

ETAPA 4: Resumen y selección de los documentos.

Debido a la gran cantidad de datos bibliográficos que se habían recopilado para la generación del mapa VOSviewer; se optó por elegir ciertos artículos, noticias y documentos. Esto con el objetivo de que permitieran dar una interpretación más precisa de la situación y contexto histórico de la comunidad de Palo Colorado.

Además de tomar en cuenta la tendencia de las citas y términos de referencia en base a lo que arrojaba el mapa bibliográfico.



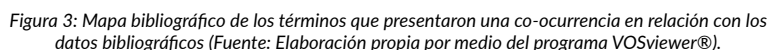
Figura 2: Diagrama de flujo lineal de las etapas que se siguieron para realizar en análisis bibliográfico (Fuente: Elaboración propia en Word 2024).

Resultados y discusión.

La figura 3 muestra cómo diferentes términos (palabras clave) están relacionados entre sí dentro de un conjunto de documentos (probablemente artículos científicos). Los términos que aparecen juntos con frecuencia en los mismos documentos están conectados y agrupados. Los nodos (Círculos) representa un término o palabra clave. Generalmente, el tamaño de un nodo es proporcional a la frecuencia de aparición de ese término en el conjunto de datos. Un círculo más grande indica que ese término es más prominente o aparece más veces en los documentos analizados. Por ejemplo, "pollution" es un nodo muy grande, lo que sugiere que es un término central y muy frecuente. Los colores indican clústers o grupos temáticos. VOSviewer agrupa automáticamente los términos que tienden a co-ocurrir juntos con mayor frecuencia. Cada color representa un clúster distinto de temas relacionados.

Las líneas que conectan los nodos representan una relación o co-ocurrencia entre los términos. Una línea más gruesa indica una mayor fuerza de co-ocurrencia (es decir, esos dos términos aparecen juntos con más frecuencia en los mismos documentos). La cercanía entre los nodos sugiere una mayor relación conceptual o temática. Los términos que están más cerca entre sí tienden a estar más relacionados en el campo de estudio. Podemos observar varios clústeres temáticos (colores) y la prominencia de ciertos términos. Cluster Rojo/Naranja (Central - Contaminación): Dominado por el nodo "pollution" (contaminación), que es el más grande. Fuertemente conectado a "river" (río), "soil" (suelo), "freshwater" (agua dulce), "eutrophication" (eutrofización), "dam" (presa), "impacts" (impactos). También se conecta con "heavy-metals" (metales pesados), "pb lead" (plomo), "bioaccumulation" (bioacumulación), "health risk" (riesgo para la salud). Esto indica que gran parte de la investigación se centra en la contaminación del agua (ríos, agua dulce) y el suelo, sus causas (eutrofización, presas) y sus consecuencias (bioacumulación, riesgos para la salud, especialmente por metales pesados como el plomo). Clúster Azul (Oeste - Contaminación Acuática y Salud de Peces): Incluye términos como "waste-water" (aguas residuales), "seasonal variation" (variación estacional), "fish" (peces), "sediment quality" (calidad del sedimento), "water quality" (calidad del agua). Esto sugiere una línea de investigación enfocada en la calidad del agua, el impacto de las aguas residuales en los ecosistemas acuáticos, la salud de los peces (especialmente en relación con el estrés oxidativo y la bioacumulación) y la biodiversidad acuática. Por lo que indica investigación sobre la gestión y monitoreo de la calidad del agua en embalses y lagos, el papel del fitoplancton y las floraciones algales, y aspectos de la cuenca hidrográfica y la comunidad. También se ve "diversity" (diversidad) y "adult pacific lamprey" que podría ser un organismo modelo o de estudio específico. El clúster Gris (Sureste - Cambio Climático y Emisiones): "climate change" (cambio climático), "carbon emissions" (emisiones de carbono), "china", "3 gorges dam" (Presa de las Tres Gargantas). Esto sugiere un sub-tema que conecta la contaminación y la gestión del agua con el cambio climático y grandes infraestructuras.

Con base en lo anterior, el enfoque en "Palo Colorado", "contaminación del agua por metales pesados" y "trastornos mentales", la investigación encaja muy bien con el clúster rojo/naranja ("pollution", "heavy-metals", "pb lead", "health risk") y podría estar haciendo una conexión importante con el impacto en la salud humana que no está tan explícitamente representado como un clúster distinto en esta red (aunque "health risk" está presente). Si esta red proviene de una base de datos amplia, tu trabajo podría estar llenando un vacío o explorando una conexión menos común o más novedosa (contaminación del agua/suelo por metales pesados y trastornos mentales), ya que "mental disorders" no es un término visible y prominente aquí. Por lo tanto, la figura 3 es un mapa conceptual de la investigación existente, donde los términos más grandes y conectados son los pilares del conocimiento, y los colores muestran las "islas" de conocimiento temático interrelacionado.



Palo Colorado enfrenta múltiples retos ambientales que no pueden comprenderse de manera aislada. Entre las problemáticas ambientales que se pueden destacar dentro de la comunidad son la degradación del suelo principalmente por actividad agrícolas, sobreexplotación del acuífero de la Cuenca de la Independencia y posible presencia de metales pesados. Es importante señalar que causa dudas la presencia tan elevada de personas con enfermedades mentales dentro de la comunidad, teniendo un potencial de desarrollo alarmante en recién nacidos reportados en el año 2018. Aún se desconoce con exactitud el origen de esta problemática, entre una de las causas que se discuten es por la presencia de metales pesados en el agua. Se recomienda la realización de una evaluación toxicológica y clínica en base a estos antecedentes, para determinar si el origen es precisamente por metales pesados o no. Ya que, se tiene la limitante de que no se cuenta con documentación o registros previos sobre la comunidad de Palo Colorado. En la figura 4-6 se observan algunas fotografías de la comunidad.

Tabla 1: Resumen de datos bibliográficos relacionados con la **comunidad de Palo Colorado**. Elaboración propia.

REFERENCIA.	RESUMEN DEL DATO BIBLIOGRÁFICO.
Páramo et al., (2020).	Debido a la perforación de pozos para uso agroindustrial en regiones semiáridas; representa el 85% de la extracción de agua. Ha provocado que las reservas de aguas subterráneas descendan y que únicamente queden aguas fósiles contaminadas con altas concentraciones de minerales como fluoruro, sodio, manganeso y metaloides como arsénico. A consecuencia, el desarrollo de enfermedades en la población como: insuficiencia renal, diferentes tipos de cáncer, fluorosis dental y esquelética, daño a los neurotransmisores, etc. En el punto de vista ambiental, las regiones cercanas a la cuenca de la Independencia se han desertificado, se erosiona el suelo, afectando a la vegetación autóctona y el uso de agroquímicos perjudica organismos polinizadores como las abejas.
Periódico AM (2018).	En la comunidad de Palo Colorado, por más de 50 años ha presentado el estigma de que sus habitantes padecen enfermedades mentales, llegando a decirles "el rancho de los locos". Se determinó que, en 2018, aproximadamente el 40% de los nacimientos de la comunidad en ese año nacieron con algún trastorno mental. Entre los más frecuentes son la incapacidad de hablar con fluidez, carencia de entendimiento y comunicación con otras personas. Incluso teniendo deficiencias motoras. Entra las causas que se discuten son por la presencia de metales pesados en el agua o la posibilidad de que se practique el incesto.
López et al., (2024).	Muestra que los suelos de la comunidad de Palo Colorado presentan baja calidad, esto debido prácticas agrícolas deficientes, deforestación y uso excesivo de agroquímicos para mejorar el rendimiento de los cultivos. Además de considerar la presencia de metales como plomo, hierro y zinc que se encuentran biodisponibles y móviles en el suelo debido a una serie factores como niveles bajos de materia orgánica, pH moderadamente ácido, bajo porcentaje de humedad y textura de suelo arenosa – arcillosa, este último factor compromete la capacidad de infiltración del agua.
Navarro de León et al., (2008).	Indica que hay una sobreexplotación del agua subterránea del acuífero de la cuenca de la Independencia, donde hay un menor volumen de agua que entra al subsuelo en comparación de la que es extraída anualmente, lo que genera un déficit hídrico crónico. Esta sobreexplotación es consecuencia de la demanda agrícola intensiva, la urbanización creciente y la fatal regulación por parte de las autoridades para verificar que se estén llevando este tipo de actividades de manera sustentable.
Valenzuela - Núñez et al., (2015).	Este estudio indica que, en la parte norte del estado de Guanajuato, esto incluye lo que es la comunidad de Palo Colorado, ha sufrido transformaciones del paisaje debido a la expansión agrícola principalmente. Lo que ha afectado al medio ambiente en el sentido de la pérdida de biodiversidad, especialmente en microcuencas y zonas de descarga.



Figura 4: Bordo principal de Palo Colorado, San Felipe Gto. Fotografía propia de los autores.



Figura 5: Presa chica de Palo Colorado, San Felipe Gto.

Figura 4: Bordo principal de Palo Colorado, San Felipe Gto. Fotografía propia de los autores.



Figura 6: Bordo de agua principal de Palo Colorado, San Felipe Gto.

Figura 4: Bordo principal de Palo Colorado, San Felipe Gto. Fotografía propia de los autores.

Conclusiones

La situación en Palo Colorado ha atraído la atención debido a hallazgos preocupantes. La presencia de metales pesados en el medio ambiente, proveniente de actividades industriales, agrícolas o incluso geológicas, es un factor reconocido de riesgo para la salud humana, incluyendo efectos neurotóxicos que pueden manifestarse como trastornos mentales. El caso de Palo Colorado, por tanto, representa un estudio de caso multifactorial que destaca la necesidad de investigaciones interdisciplinarias que aborden la interacción entre los factores ambientales (como la contaminación por metales pesados) y los factores socioculturales (como dinámicas familiares complejas) para comprender integralmente los determinantes de la salud en comunidades vulnerables.

Agradecimientos

Los autores agradecen al comité de Veranos UG 2025 a la DAIP-UG por el apoyo otorgado, ya que este producto forma parte del proyecto CIIC DAIP 2025 "Enfoque de la Economía Circular para Tratamientos Sustentables de Residuos Sólidos y Recursos Hídricos: Caso de Estudio Comunidades Marginadas y Rurales".

Referencias bibliográficas

- Barajas, A. L. D., Castaneda, C. P., Vargas, A. Á., & Muñoz, A. H. S. (2022). Aislamiento de microorganismos resistentes a los metales para producción de nanopartículas, provenientes de zonas contaminadas de Guanajuato, México. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 16, 1–14.
- Bautista-Olivas, A. L., Tovar-Salinas, J. L., Mancilla-Villa, O. R., Flores-Magdaleno, H., Ramírez-Ayala, C., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. (2014). TRACE METALS CONCENTRATION IN CONDENSED WATER FROM THE ATMOSPHERIC HUMIDITY IN THE VALLEY OF MEXICO. *INTERCIENCIA*, 39(4), 234–240.
- Fitzgerald, F., SEATINI, CEHURD, TARSC, CPT, Banda, G., Wangwe, S., Mackintosh, M., Pamela, S., Gamal, Khalafalla Mohamed Ali Andrey, L., Lakshmy, S., Martz, M., Sörensen, M., Zegenhagen, F., Weckenmann, J., Mutembe, D., Piranty, S., Thomas, F., Depledge, M., ... East African Community. (2020). Study on the environmental risks of medicinal products Executive Agency for Health and Consumers Document information. *Applied Water Science*, 6(1).
- Moser, M. L., Almeida, P. R., King, J. J., & Pereira, E. (2021). Passage and freshwater habitat requirements of anadromous lampreys: Considerations for conservation and control. *JOURNAL OF GREAT LAKES RESEARCH*, 47, S147–S158. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.07.011>
- Nava-Reyna, E., & Medrano-Macías, J. (2022). Arsenic occurrence in the environment: Current situation of the Comarca Lagunera in northern Mexico and bioremediation approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100379>
- Osuna-Martínez, C. C., Armienta, M. A., Bergés-Tiznado, M. E., & Páez-Osuna, F. (2021). Arsenic in waters, soils, sediments, and biota from Mexico: An environmental review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 752). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142062>
- Páez-Osuna, F., Bergés-Tiznado, M. E., Valencia-Castañeda, G., Fregoso-López, M. G., León-Cañedo, J. A., Fierro-Sañudo, J. F., & Ramírez-Rochín, J. (2024). Mercury and selenium in three fish species from a dam 20 months after a mine-tailing spill in the SE Gulf of California ecoregion, Mexico. *ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH*, 31(4), 5399–5414. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31487-4>
- Riojas, C. (n.d.). El MITO DEL FIN: POBREZA GLOBAL EN EL CENTRO OCCIDENTE DE MÉXICO (2008-2018). *FIN DE LA POBREZA E IGUALDAD*.
- Rishan, S. T., Kline, R. J., & Rahman, M. S. (2024). Exploitation of environmental DNA (eDNA) for ecotoxicological research: A critical review on eDNA metabarcoding in assessing marine pollution. In *Chemosphere* (Vol. 351). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141238>
- Rodríguez Castrejón, U. E., Serafín Muñoz, A. H., Cano Canchola, C., & Álvarez Vargas, A. (2018). Microbial study related with the arsenic hydrogeochemistry of the Xichú River in Guanajuato, Mexico. *Environmental Arsenic in a Changing World - 7th International Congress and Exhibition Arsenic in the Environment, 2018*. <https://doi.org/10.1201/9781351046633-54>