

Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional

Volumen 34, Número 64. Julio – Diciembre 2024
Revista Electrónica. ISSN: 2395-9169

Artículo

Producción de cerveza en Chihuahua. ¿Estrategia de desarrollo sustentable para la región o exportación indirecta de recursos hídricos?

Beer production in Chihuahua: A regional sustainable development strategy or hidden water resources export?

DOI: <https://doi.org/10.24836/es.v34i64.1488>
e241488

José Luis Manzanares-Rivera*

<https://orcid.org/0000-0003-3394-4967>

Fecha de recepción: 29 de enero de 2024.

Fecha de aceptación: 08 de agosto de 2024.

*El Colegio de la Frontera Norte.
Av. Reforma, Local 1, 2 y 3 (Centro Corporativo Norte).
Col. del Rosario, C. P. 84020.
Nogales, Sonora.
Tel. +52 (631) 319 3301
Dirección electrónica: jlmanzanares@colef.mx

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
Hermosillo, Sonora, México.



Resumen

Objetivo: analizar el uso de los recursos hídricos subterráneos en la región central del estado fronterizo de Chihuahua en el contexto de la reciente relocalización de actividades productivas de cerveza en México. **Metodología:** el análisis se organiza en dos fases, la primera se logra a través de técnicas de modelado hidrológico. La segunda aplica herramientas de percepción remota para el análisis de imágenes satelitales multiespectrales en formato ráster adquiridas mediante el proyecto Sentinel-2, mismo que está a cargo de la Comisión Europea Copérnico, diseñado específicamente con propósitos de monitoreo ambiental a escala regional. **Resultados:** Se identifica el grado de inequidad existente en la distribución del volumen concesionado. Se documenta un desequilibrio entre los parámetros de utilización y recarga de recursos hídricos, lo que sugiere un patrón de extracción no sustentable en la zona de estudio. **Limitaciones:** dado que la operación de la planta cervecera de la región de Chihuahua estudiada data de 2018, conseguir un monitoreo de largo plazo requerirá estudios adicionales. No se ofrece una perspectiva cualitativa que capture la percepción de los actores locales, lo que es deseable como investigación complementaria. **Conclusiones:** se aporta evidencia de que la ejecución del proyecto productor de cerveza en la región central de Chihuahua ocurre en una zona que presenta condiciones de sobreexplotación, por lo que es necesario implementar estrategias de manejo para evitar impactos ambientales adversos.

Palabras clave: desarrollo regional, agua subterránea, gestión de recursos, cerveza, desarrollo sustentable, México.

Abstract

Objective: Analyze the use of underground water resources in the central region of the border state of Chihuahua in the context of the recent relocation of beer production activities in Mexico. **Methodology:** The analysis is organized in two phases, the first consists of estimating indicators of use intensity per aquifer based on vector data. The second applies remote sensing tools to the analysis of multispectral satellite images in raster format acquired through the Sentinel-2 project, a project led by the European Copernicus Commission, designed specifically for environmental monitoring purposes on a regional scale. **Results:** The degree of inequality existing in the distribution of the concessioned volume is identified. An imbalance is documented between the parameters of use and recharge of water resources, which suggests an unsustainable extraction pattern in the study area. **Limitations:** Given that the operation of the brewery plant in the Chihuahua region studied dates back to 2018, achieving long-term monitoring will require additional studies. A qualitative perspective that captures the perception of local actors is not offered, which is desirable as complementary research. **Conclusions:** Evidence is provided that the execution of the beer production project in the central region of Chihuahua occurs in an area that presents conditions of overexploitation, Therefore, it is necessary to implement management strategies to prevent adverse environmental impacts.

Keywords: regional development, groundwater, resources management, beer, sustainable development, México.

There is nothing which so generally strikes the imagination, and engages the affections of mankind, as the right of property; or that sole and despotic dominion which one man claims and exercises over the external things of the world, in total exclusion of the right of any other individual in the universe

(Blackstone, 1753)

Introducción

La cerveza es considerada la bebida alcohólica de mayor consumo en el mundo (Capitello y Maehle, 2021) y México fue, en 2022, el principal exportador mundial con una producción valuada en el mercado en 4.89 billones de dólares estadounidenses, (World Bank, 2023). Esta producción representa un tercio del total de la cerveza exportada en el mundo y supera el volumen combinado de los dos países exportadores más importantes inmediatos en orden descendente, que son Bélgica y Holanda (INEGI, 2020). No obstante, esta posición que ocupa hoy México en el mercado mundial de exportación es un fenómeno relativamente nuevo, que se explica parcialmente debido a una importante relocalización de la producción que ha tenido lugar a escala global en las últimas tres décadas (Doan y Sercu, 2021), entre otros objetivos, para abastecer la creciente demanda en regiones específicas como Norteamérica (SADER, 2021).

En la actualidad, la industria cervecera mundial se integra bajo una estructura oligopólica (Jernigan y Ross, 2020). La obtención del agua como insumo estratégico y los costos asociados a la etapa de distribución, como el transporte hacia mercados destino, han provocado que las empresas dedicadas a la producción de cerveza emprendan acciones para asegurar su abastecimiento (Heineken, 2019). Tales acciones emprendidas por las empresas más importantes de la industria a escala global han incluido la relocalización (Massey y Higgins, 2023), lo cual se ha logrado, entre otros elementos, mediante fusiones con empresas productoras en otras regiones del mundo, donde se han identificado condiciones favorables de acceso a los insumos para su producción (Swinnen y Briski, 2017). Esta tendencia de relocalización de la industria cervecera global y las condiciones de

ubicación estratégica de México, han contribuido a que este país haya transitado del lugar 20 dentro del ranking de exportadores de cerveza en 1965, al primer sitio. Así, México se ubica hoy en día, como el principal exportador de esta bebida a escala global (World Bank, 2023). En México, este proceso ha resultado en la configuración de una estructura de mercado con un grado mayor de concentración y, de hecho, dos grandes consorcios han tomado el control del mercado mediante fusiones concretadas recientemente. Éstas son: AB InBev (empresa de capital belga) que adquiere grupo Modelo, empresa fundada en la Ciudad de México, cuya producción y distribución incluye 12 marcas, entre ellas la emblemática Corona, así como las marcas Modelo y Victoria (Anheuser-Busch InBev S. A., 2022). La otra es el corporativo Heineken, empresa de capital holandés que adquiere la mexicana Cuauhtémoc-Moctezuma fundada en Monterrey, Nuevo León en 1890 con una distribución de 15 marcas (Heineken México, 2023). La importancia de los flujos comerciales y la estrategia de atención de la demanda en regiones específicas por parte de los corporativos globales quedan de manifiesto en este caso, ya que en 2023 el mercado destino para exportación de la cerveza producida por los corporativos de capital belga y holandés en México, incluye 165 países. No obstante, sólo un destino concentra el 86% del total exportado: Estados Unidos. (SE, 2022).

En la última década, la participación de empresas de capital extranjero en la producción de cerveza en México ha representado el inicio de operaciones en los estados fronterizos del norte, como las plantas de Constellation Brands, empresa de capital norteamericano (concesionaria del grupo AB In Bev), en el municipio de Nava, Coahuila, empresa que inicia operaciones en 2013 y que implementa una estrategia de crecimiento destinada a incrementar su capacidad en 2017 (Constellation Brands, 2023). La expansión de la Planta Constellation Brands en ciudad Obregón, ubicada en el estado fronterizo de Sonora y el inicio de operaciones de la planta Heineken en la ciudad de Meoqui, una región que presenta condiciones de escasez hídrica, en el estado fronterizo Chihuahua, forman parte de este proceso de reconfiguración para atender un creciente mercado de

exportación. Sin embargo, esta transición no ha estado exenta de conflicto social, como lo demuestra el caso emblemático del proyecto de la norteamericana Constellation Brands en la ciudad de Mexicali, en el estado fronterizo de Baja California, (Tapia y Lara, 2022), mismo que fue cancelado tras una consulta social que manifestó su rechazo y oposición en 2020. El análisis de este tema es relevante desde el punto de vista de los recursos hídricos ya que el insumo principal para la elaboración de esta bebida es el agua, que representa el 95% del producto. En conjunto, la industria tiene una alta dependencia de este recurso en diversos procesos, desde el cultivo de la materia prima, hasta el empaque, incluyendo las etapas centrales de la producción, como la fermentación y la maduración del producto.

En México se estima que la producción de cerveza¹ involucra una cadena de valor cuya integración está distribuida a lo largo 168 actividades económicas (INEGI, 2020), por lo que es un tema también relevante desde la perspectiva económica a diversas escalas. En este contexto, dos interrogantes que motivan la presente investigación son: ¿qué implicaciones tiene la actual configuración del mercado mundial de producción de cerveza respecto al uso de los recursos hídricos a escala regional? y ¿qué lecciones puede aportar el caso mexicano sobre el manejo de recursos estratégicos en el contexto de actividades económicas de interés global con impacto ambiental? Desde un abordaje empírico, la modelación climática que realizan algunos estudios recientes como los de Mozny et al. (2023) o Xie et al. (2018), para comprender el rendimiento de insumos agrícolas esenciales para el proceso de elaboración de cerveza, sugiere que las condiciones climáticas extremas relacionadas con las variaciones actuales de temperatura, pueden amenazar la disponibilidad regional y accesibilidad económica de este producto, una vertiente que se suma a la

¹ La producción de cerveza se define en esta investigación como el proceso mediante el cual se obtiene una bebida fermentada a partir de cereales, principalmente cebada malteada, agua, levadura y lúpulo. Un proceso biotecnológico que se realiza bajo condiciones controladas de tiempo y temperatura.

creciente atención que el debate de los impactos ambientales derivados de la producción de alimentos ha cobrado en el presente siglo (Foster et al., 2007).

Existen investigaciones que detallan la trayectoria que ha seguido México en su posicionamiento como un país exportador líder, tales como el trabajo pionero de Gauss y Beatty (2014), quienes documentan la ruta que siguió un conjunto selecto de empresas desde 1890, en su camino hacia la consolidación regional. Si bien esta vertiente de análisis documental es fundamental para comprender la situación actual, presenta un vacío en cuanto al análisis geográfico necesario para entender el vínculo entre el ámbito productivo y la inherente asociación del impacto socioambiental de esta actividad.

El objetivo del presente estudio es analizar el uso de los recursos hídricos subterráneos a escala regional en el contexto de la producción de cerveza en un estado fronterizo del norte de México, cuya ubicación estratégica permite atender un creciente mercado de exportación. Nos referimos al estado de Chihuahua, donde se localiza una de las principales plantas productivas del grupo cervecero Cuauhtémoc-Moctezuma², situada en el municipio de Meoqui (latitud: 28.2918225, longitud -105. 5117011). Esta planta productora forma parte de un conjunto de complejos productivos de cerveza que han iniciado operaciones en los estados fronterizos del norte de México en la última década³, y es relevante entre otros elementos, porque es una zona que se caracteriza por condiciones de escasez hídrica. Se trata de un territorio definido por el clima árido de sus llanuras, acompañado de limitados regímenes de precipitación con una media anual de 410.6 milímetros (mm.), cifra considerablemente menor que la precipitación media anual del resto del país, que es 769.2 mm. (Conagua, 2021).

² En la actualidad este grupo es subsidiario del conglomerado global Heineken. Para efectos de la presente investigación, estos términos se utilizan de manera indistinta.

³ La planta Heineken Meoqui inicia operaciones en 2018.

Estas condiciones implican que la principal fuente de aprovisionamiento sea a través de la extracción de agua proveniente de los acuíferos, un método que plantea la interrogante sobre el grado de sustentabilidad del ritmo de extracción, en contraste con la capacidad de recarga de los acuíferos y se traduce en un incremento de la competencia entre los usuarios de la región. Así lo documenta la Conagua (2023) en sus registros de acuíferos sobreexplotados en territorios como Chihuahua.

Esta investigación sostiene que estudiar las implicaciones a escala regional del proceso productivo de la cerveza es de particular interés desde la perspectiva ambiental, sobre todo al considerar la evidencia en torno a la reconfiguración territorial de la producción de cerveza en Norteamérica, y en segundo lugar, dado el mercado de exportación que actualmente se ha establecido a nivel internacional a partir de la integración de regiones productoras y la consolidación de corporativos globales. Comprender las implicaciones de este fenómeno se considera un tema de interés público porque se reconoce que la utilización de los recursos hídricos necesarios para la fabricación de un producto como la cerveza, requiere estrategias de adaptación de largo plazo que van más allá de beneficios asociados al plano económico, como la atracción de inversión y la generación de empleo.

Metodología

La investigación se basa en los elementos teóricos del ciclo hidrológico y en su relación con los impactos al medio ambiente, un enfoque ampliamente discutido por Hospido, Moreira y Feijoo (2005); Mishra (2023); Scanlon et al.(2023) y Yang, Yang y Xia (2021), quienes enfatizan los impactos sobre el ambiente en conexión con la actividad humana. En este enfoque se considera que los recursos hídricos susceptibles de aprovechamiento humano, disponibles mediante el proceso climático de precipitación, se distribuyen por dos vías principales: la superficial, mediante las redes de drenaje natural compuestas por ríos, arroyos, etc. y la subterránea, mediante el almacenamiento

y flujo que tiene lugar por la infiltración hacia los acuíferos. La premisa central de este enfoque es que el entendimiento del ciclo hidrológico en conjunto con la actividad humana es clave para la conceptualización de un desarrollo sustentable.

En esta investigación, la noción de desarrollo sustentable se refiere al modelo de crecimiento que busca satisfacer las necesidades presentes de la sociedad sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Kirkby, O'Keefe y Timberlake, 2023). Dicha noción se basa en el equilibrio entre el desarrollo económico, la protección ambiental y la equidad social y promueve la idea del uso responsable de los recursos naturales. En contraste a la noción anterior, las prácticas de exportación indirecta de recursos hídricos, que se ubican bajo el abordaje teórico huella hídrica y acaparamiento de agua (Veldwisch, Franco y Mehta, 2023), se entienden como las estrategias que permiten desvincular en términos geográficos, las etapas de producción y consumo de un bien cuyo insumo principal es el agua. En el caso concreto de la cerveza, esta noción cobra relevancia al tratarse de una bebida que contiene el 95% de agua como insumo (Bamforth, 2009) y que por lo tanto puede ser elaborada generando impactos ambientales locales, mientras el producto final es destinado para su consumo a una ubicación geográfica distinta, más allá de los confines del país de origen. También se argumenta que el entorno social donde desempeñamos nuestras actividades, incluyendo las de naturaleza económica, depende y está, por definición, vinculado con el entorno natural (Carmenta et al.,2023), lo cual adquiere mayor importancia cuando se trata de la producción de alimentos y bebidas (USDA, 2023). Siguiendo estos preceptos, el análisis empírico de esta investigación se enfoca en caracterizar condiciones de recarga del acuífero Meoqui-Delicias, área donde se ubica la planta productora de cerveza objeto de estudio. Desde el punto de vista territorial, este acuífero es parte de las cuencas Río San Pedro y Río Conchos-Presa El Granero. En la primera fase del análisis se aplican técnicas de modelado hidrológico para representar la red de drenaje o escurrimiento pluvial que, en conjunto con la presencia de actividad

antropogénica como áreas agrícolas y centros poblacionales, aporta evidencia de los factores potenciales de riesgo de contaminación que afectan la calidad del agua en la zona de estudio. El resultado es la obtención de una capa vectorial con la red de drenaje fluvial del área de estudio. La fase subsecuente permite caracterizar las condiciones de intensidad de utilización de recursos hídricos subterráneos en la zona de estudio. En esta etapa se analiza la distribución espacial del volumen concesionado para extracción de agua subterránea en la región de influencia de la planta cervecera Cuauhtémoc-Moctezuma Meoqui. Para lograr esta caracterización se propone la estimación del índice relativo de impacto territorial. (IRIT), una medida que contrasta la cantidad de pozos por acuífero en relación con la propia superficie expresada en km^2 y del índice de sustentabilidad (IS), el cual permite contrastar la capacidad de recarga del acuífero respecto de la demanda generada por los diferentes usuarios, incluyendo los requerimientos necesarios para mantener un balance en el ecosistema, por lo que es una medida que incorpora la noción de sustentabilidad de manera explícita.

La notación para el cálculo del índice es: $IS = D / O$, donde IS es el índice de sustentabilidad en extracción de agua subterránea; D es la demanda expresada por el volumen concesionado y O es la oferta. A su vez la oferta se integra por dos componentes definidos a partir de la relación $O = R - DNC$, donde R indica el volumen de recarga total medial anual que el acuífero recibe y DNC consigna la descarga natural comprometida, que es la fracción del volumen de agua natural que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes, sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero (DOF, 2015). Todas las variables se expresan en hm^3 (hectómetros cúbicos) por año. Las variables utilizadas provienen de información oficial disponible a través del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), con fecha de corte 30 de septiembre de 2023, el más reciente disponible a la fecha cuando se redactó este artículo. Se trata de un repositorio administrado por la Comisión Nacional del Agua (Conagua), el organismo rector del

Estado en materia de recursos hídricos en México (DOF, 2020). Finalmente, para identificar condiciones de estrés hídrico asociadas al uso intensivo de recursos hídricos en actividades agrícolas, se propone el uso de herramientas de percepción remota para el análisis de imágenes satelitales multiespectrales en formato ráster adquiridas mediante el proyecto Sentinel-2, el cual está a cargo de la Comisión Europea Copérnico. La elección de esta fuente de imágenes se debe a que se trata de un proyecto diseñado específicamente con propósitos de monitoreo ambiental en el marco del (Global monitoring for environment and security), una referencia estándar en investigación aplicada (Waldner, Chen, Lawes y Hochman, 2019).

La resolución que se tiene con este acervo es en el rango de 10 a 60 metros por pixel. Una escala adecuada para el análisis regional. Con estas imágenes se logra la estimación de dos indicadores para el análisis: el índice normalizado de vegetación (Normalized Vegetation Index, NDVI por sus siglas en inglés), cuya representación se obtiene mediante el siguiente calculo: $NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$. Éste básicamente considera las bandas rojo e infrarrojo cercano (near infrared o NIR). El indicador tiene un dominio en el intervalo cerrado (-1,1), donde pixeles con valores que tienden a -1 indican menor actividad fotosintética (ejemplo: presencia de menos vegetación) y los valores cercanos a 1 indican lo opuesto (Huang, Tang, Hupy, Wang y Shao, 2021). El segundo estimador que se calcula es el índice de humedad (moisture index), el cual se obtiene mediante la siguiente especificación:

$MI = \frac{B8A - B11}{B8A + B11}$, donde la Banda 8A corresponde al sensor visible infrarrojo cercano (VNIF), que cubre un ancho de banda 865 nm. del espectro y en combinación con la banda 11, infrarrojo de onda corta (short wave infrared), permite detectar condiciones de humedad asociadas a la presencia de recursos hídricos. frecuentemente vinculadas, por ejemplo, a la presencia de sistemas de riego en actividades agrícolas (EOSDA, 2023).

El resultado es una representación cartográfica en formato ráster para ambos indicadores, lo que permite una mejor comprensión del impacto de las actividades productivas en la región.

Resultados y discusión

Análisis de la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos a escala regional para el estado de Chihuahua

La planta productora de cerveza Cuauhtémoc-Moctezuma de Meoqui, Chihuahua se encuentra ubicada a una distancia de 314 km. al sur de la frontera con Estados Unidos, vía Ojinaga, en la región centro-sur del estado. El acuífero del cual se abastece es el denominado Meoqui-Delicias (clave 831), tiene una superficie de 4,830 km². Este forma parte del sistema de recursos hídricos subterráneos que se encuentran en el estado de Chihuahua, entidad que alberga 62 acuíferos. Esta región constituye un importante polo agrícola de la entidad, dedicada a la producción de cultivos que requieren el uso intensivo de recursos hídricos, como el nogal, y otros que se producen a escala comercial como trigo, soya, sorgo, cacahuate, maíz, frijol, chile, cebolla y alfalfa, este último destinado al abastecimiento de la importante actividad productiva de leche en la región. La figura 1 muestra la localización del complejo productivo Cuauhtémoc-Moctezuma Meoqui en el contexto de las concesiones para extracción de agua subterránea de la región.

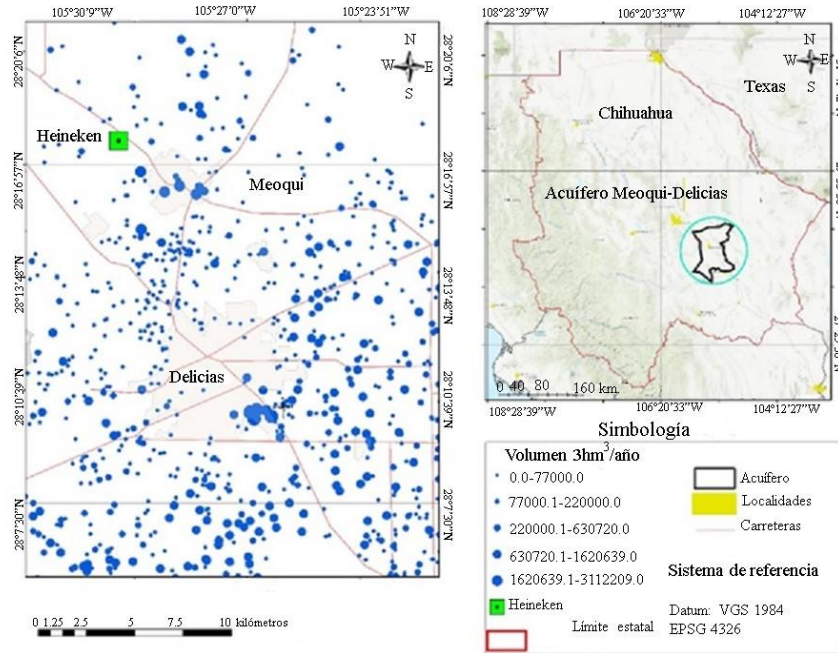


Figura 1. Ubicación planta Cuauhtémoc-Moctezuma Meoqui y concesiones para extracción de agua subterránea según volumen $\text{hm}^3/\text{año}$ en zona de estudio. Fuente: elaboración propia. Registro público de derechos de propiedad, (Conagua, 2023).

La evidencia empírica indica que el acuífero Meoqui-Delicias, del que se abastece la cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma, registra un déficit en la ecuación del balance entre volumen concesionado y volumen de infiltración por recarga, estimado por la Conagua para septiembre de 2023 equivalente a $165.03 \text{ hm}^3/\text{año}$, por lo que el acuífero está clasificado como sobreexplotado y es el séptimo de la entidad con mayor nivel de sobreexplotación de entre los 62 acuíferos. La información del Registro público de derechos de agua para el acuífero Meoqui-Delicias permite identificar 1,948 concesiones para extracción de agua subterránea (pozos). Si se considera que la planta Cuauhtémoc-Moctezuma de Meoqui produce 600 millones de litros al año (Paulín, 2018) y que el proceso productivo de cerveza Cuauhtémoc-Moctezuma requiere en promedio de 3.5 litros de agua por litro de cerveza (Heineken, 2019), se determina que el proceso implica una demanda directa de recursos hídricos en la región de 2,100 millones de litros anuales. Si bien la clasificación de los acuíferos permite conocer el contexto donde se ubica la cervecería, es importante examinar con mayor detalle la presión sobre

los recursos hídricos a escala regional e identificar las zonas de sobreexplotación⁴ en el estado de Chihuahua. Para este propósito, se estima el Índice Relativo de Impacto Territorial (IRIT), una medida que contrasta la cantidad de pozos por acuífero en relación con la superficie de cada acuífero expresada en km².

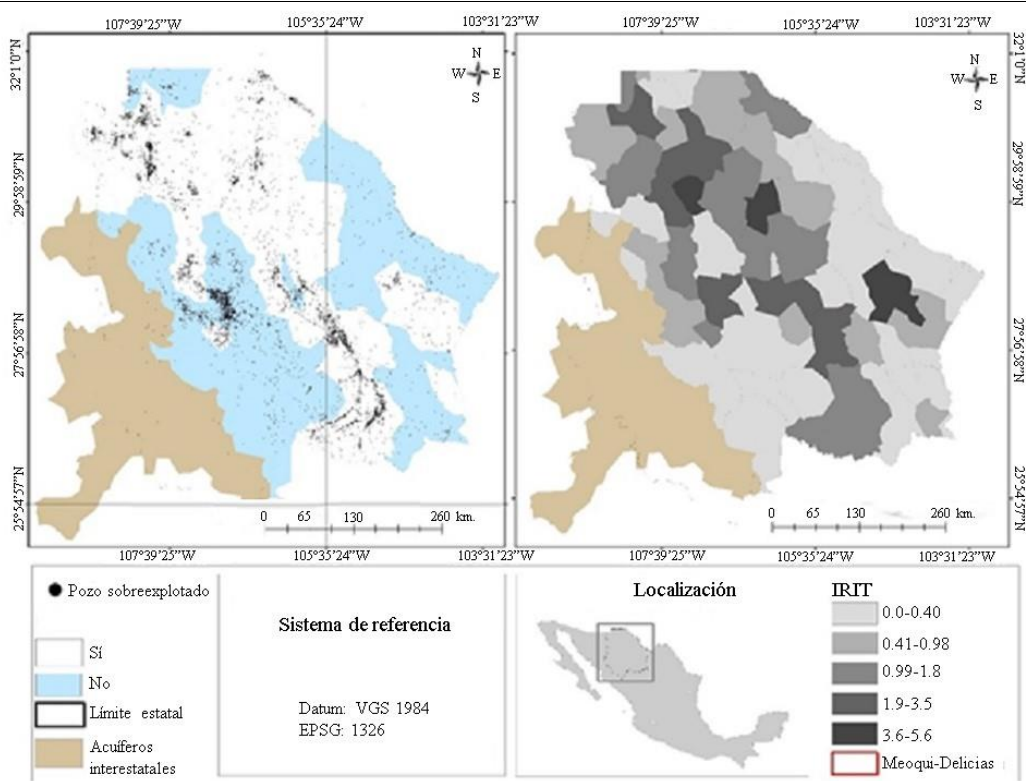


Figura 2. Índice Relativo de Intensidad Territorial (IRIT, 2023). Distribución de concesiones para extracción de agua subterránea (pozos) de Chihuahua y clasificación de acuíferos según estatus de sobreexplotación. Fuente: datos del Registro público de derechos de propiedad. (Conagua, 2023).

Se encuentra que el acuífero Meoqui-Delicias tiene un IRIT=2.4, lo que se traduce en una concentración de pozos que supera en 2.4 veces la concentración observada en el estado. Este indicador permite visualizar la perspectiva territorial del fenómeno; no obstante, ésta es una dimensión parcial, ya que también es necesario caracterizar la distribución del volumen extraído

⁴ La clasificación de un acuífero en la categoría de sobreexplotado se define considerando el contraste entre las variables de volumen concesionado y recarga. Cuando el volumen concesionado excede la capacidad de recarga del acuífero, se clasifica como sobreexplotado.

entre concesionarios. Esta dimensión permitirá examinar las condiciones de acceso al recurso y detectar posibles patrones de concentración. La estimación de la curva de Lorenz nos permite conocer la distribución del volumen concesionado en los acuíferos del estado en relación con los usuarios registrados al 2023. Si se considera la distribución de las concesiones para extracción de agua subterránea inscritas en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), se observa el siguiente patrón de concentración a partir de la estimación de la curva de Lorenz en la figura 3.

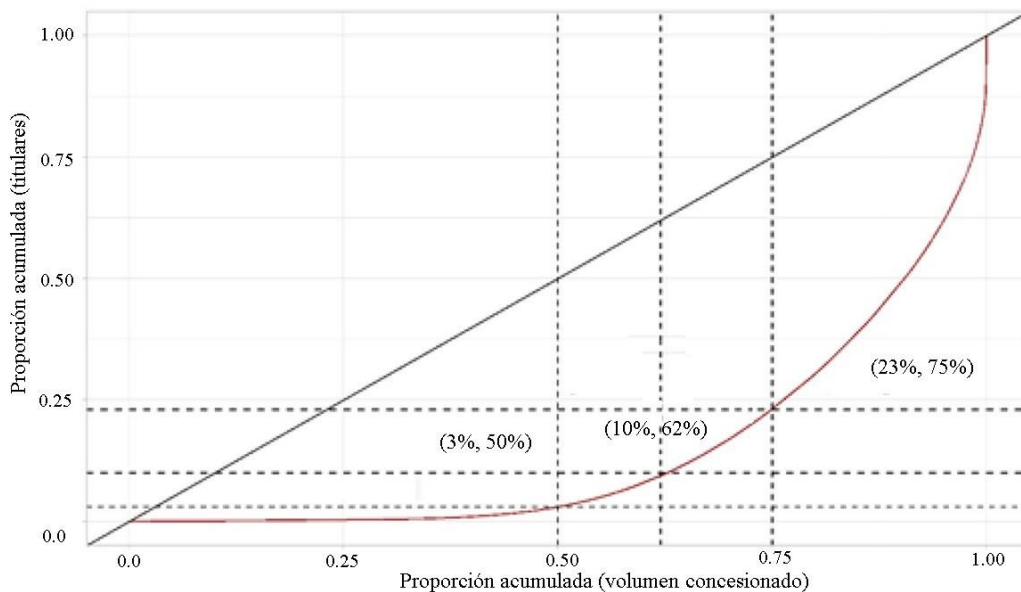


Figura 3. Curva de Lorenz. Distribución del volumen concesionado en acuíferos de Chihuahua, 2023. Fuente: elaboración propia con datos de REPGA (Conagua, 2023).

Se encontró que el 23% de los usuarios concentra el 75% del volumen disponible. Además, la estimación del coeficiente de Gini⁵ por acuífero permite especificar el grado de inequidad observado en la distribución del volumen concesionado. La estimación revela que el acuífero clave 831,

⁵ El coeficiente de Gini es una medida que permite evaluar el grado de concentración de una variable. Este indicador toma valores entre 0 y 1, donde 0 indica igualdad total y 1 desigualdad máxima. En este caso se emplea para determinar la concentración del volumen concesionado de agua entre usuarios.

Meoqui-Delicias, presenta un coeficiente de Gini=0.73, considerando que este indicador tiene un dominio en el intervalo cerrado (0,1), donde 0 indica total igualdad y 1 representa total desigualdad. La estimación confirma un patrón de alta concentración del volumen que refleja un acceso desigual al recurso en el acuífero de interés. El coeficiente Gini para los 62 acuíferos del estado es de 0.56. Aunado a este patrón que muestra la situación actual, es importante tomar en cuenta la perspectiva temporal. Esta dimensión nos permitirá observar cómo ha evolucionado el otorgamiento de concesiones a lo largo del tiempo, lo que es útil para detectar las variaciones de demanda que son un proxi, tanto de la actividad económica de la región, como del rumbo de las estrategias de gestión en el estado. La figura 4 muestra la trayectoria a partir de una serie temporal de 30 años, comprendidos en el periodo 1993-2023.

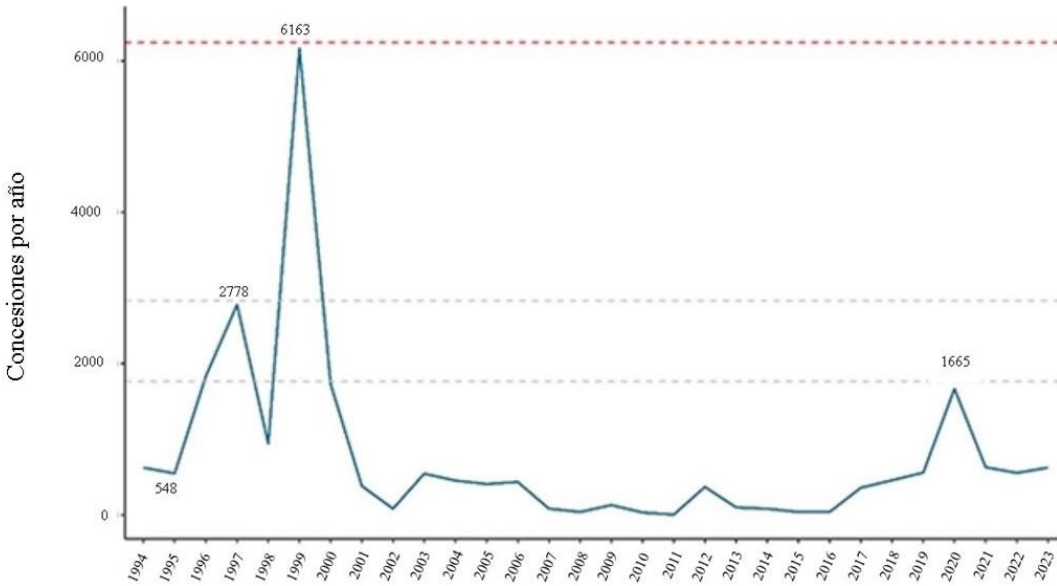


Figura 4. Evolución temporal de las concesiones para extracción de agua subterránea en Chihuahua. 1993-2023. Fuente: elaboración propia con datos de Repda (Conagua, 2023).

Si bien la trayectoria ascendente de asignación de concesiones alcanzó su nivel más elevado a finales de la década de los noventa, y durante las dos últimas décadas la entrega de concesiones se había mantenido en niveles relativamente estables, es posible observar que recientemente se incrementó el número de concesiones otorgadas, con un repunte observado en 2020, lo cual marca un cambio en la trayectoria de gestión del recurso en las dos décadas previas.

Modelado hidrológico

En esta etapa se analizan con mayor detalle las condiciones de recarga que prevalecen en la zona de estudio. La finalidad es construir una capa vectorial que contenga la red de drenaje fluvial mediante el modelado hidrológico. Esta metodología permitirá además analizar los factores de riesgo de contaminación por actividades antropogénicas que coexisten en la zona. Como insumo, en esta etapa se analizan imágenes en formato ráster del área estudio, provenientes del continuo de elevaciones mexicano que tienen una resolución de 15 m. por pixel, una escala favorable para comprender la dinámica regional.

El análisis se divide en cuatro etapas: integración del modelo digital de elevación para la zona, análisis de las pendientes, determinación de áreas de captación, dirección de flujo y construcción de la red de drenaje. El resultado es una capa vectorial que muestra los escurrimientos de recursos hídricos en la zona. El área de estudio se integra por cuatro mosaicos ráster a escala 1:50 000, con resolución a 15 metros por pixel. La figura 5 muestra el área de estudio y los datos de hipsometría derivados del modelo digital de elevación.

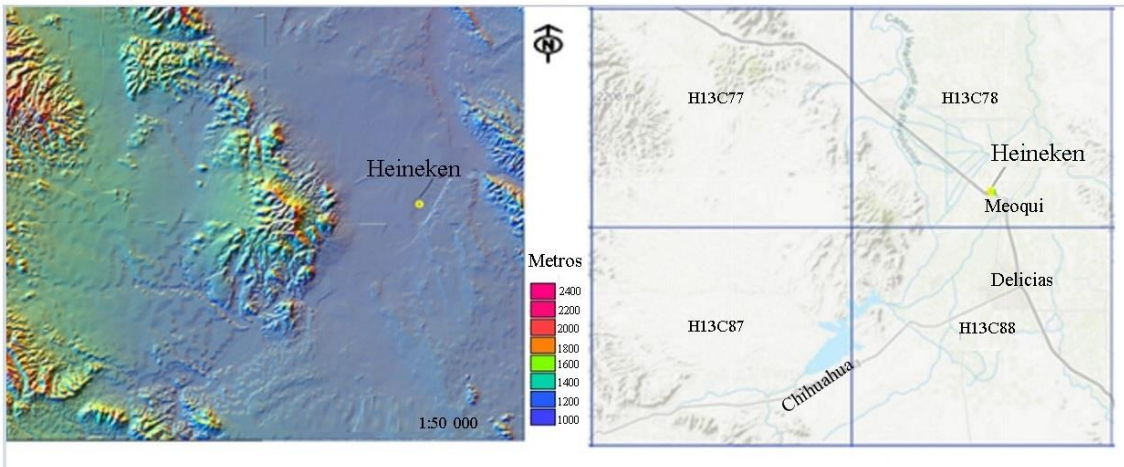


Figura 5. Modelo digital de elevación. Área de influencia planta Cuauhtémoc-Moctezuma Meoqui, Chihuahua. Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2023). Continuo de elevaciones mexicano.

El área se integra por un valle cuyas colinas circundantes alcanzan una altitud máxima de 2,200 metros; la porción oriental del área muestra un patrón de planicies que rondan los 1000 metros de altitud. Es en esta zona donde se ubica la planta Cuauhtémoc-Moctezuma, justo en las inmediaciones de la ciudad de Meoqui. Conocer la dirección de flujo de los escurrimientos permitirá obtener elementos para comprender el potencial de contaminación de los recursos hídricos y, al mismo tiempo, determinar las áreas de captación de las que se alimenta el acuífero en esta región. El resultado del procesamiento hidrológico se muestra en la figura 6. La representación incluye la definición de un buffer de 15 kilómetros de radio como área primaria de influencia de la planta productora y la capa de clasificación de usos de suelo para mayor referencia.

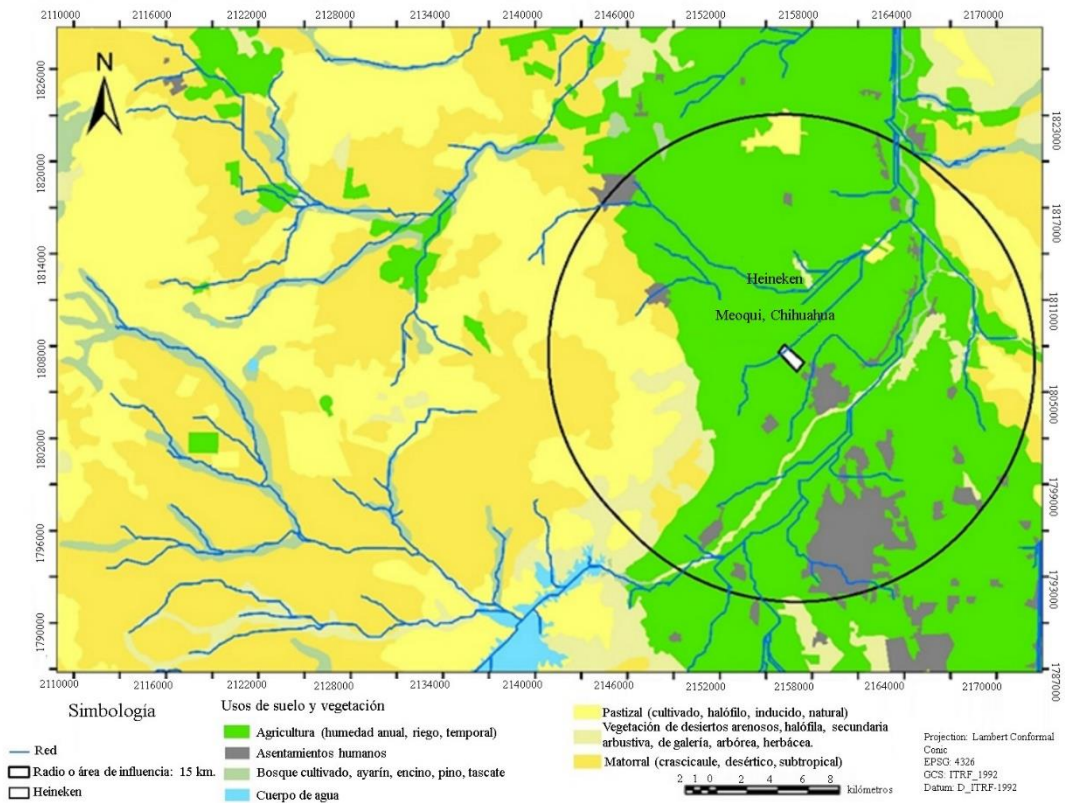


Figura 6. Red de drenaje fluvial y caracterización de uso de suelo actividad agrícola. Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2023). Continuo de elevaciones mexicano y clasificación de uso de suelo (INEGI, 2023).

Para facilitar la interpretación de los resultados se muestra la red de drenaje fluvial generada en conjunto con la capa de uso de suelo, lo cual permite captar la interacción de la actividad antropogénica y las condiciones hidrológicas. Se encontró que el 63.39% de la superficie en el área de influencia tiene un uso de suelo clasificado como actividad agrícola de riego anual, permanente y semipermanente. Este rasgo es de suma importancia, entre otros elementos, porque la actividad agrícola se lleva a cabo bajo el modelo de monocultivo dependiente de agroquímicos, lo que implica un alto potencial de contaminación de recursos hídricos de la zona mediante los escurrimientos de la red de drenaje hidrológica. También se observó que los asentamientos humanos ocupan el 7.78%

de la superficie y el 12% de ésta corresponde a pastizal natural; en el resto del territorio tienen presencia el matorral desértico micrófilo, la vegetación arbustiva y, de forma marginal, el pastizal inducido.

Indicadores de intensidad del uso de recursos hídricos. Aplicación de herramientas de percepción remota e imágenes de satélite

A continuación se presenta el análisis de las imágenes satelitales del proyecto Sentinel-2, mismas que permiten captar con mayor detalle la presencia de los recursos hídricos mediante las combinaciones de las distintas bandas y la aplicación de herramientas de percepción remota para generar los indicadores de vegetación (NDVI) y el índice de humedad (NDMI).

En la figura 7 se muestra la combinación de color infrarrojo que integra las bandas infrarrojo cercano (banda 11 del proyecto Sentinel-2), azul (banda 2) y verde (banda 3), con la finalidad de enfatizar la presencia de cultivos en la zona de estudio.

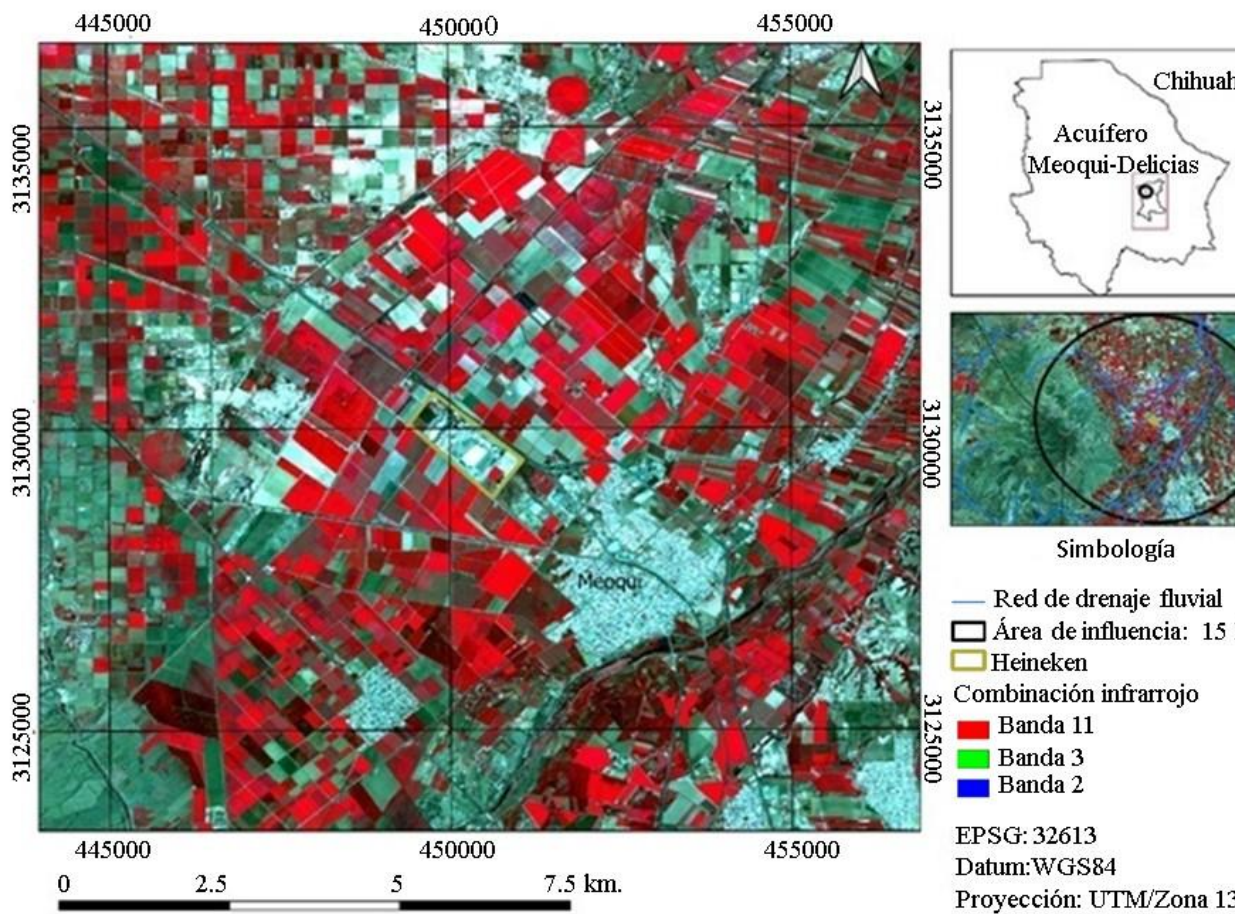


Figura 7. Combinación de color infrarrojo. Zona de influencia planta Cuauhtémoc-Moctezuma Meoqui.
 Fuente: elaboración propia con datos de European Space Agency.

Los resultados de la estimación mediante herramientas de percepción remota permiten confirmar que la planta cervecera Cuauhtémoc-Moctezuma se encuentra inserta en un área de intensa actividad agrícola, en una planicie que se beneficia de la disponibilidad de recursos hídricos tanto subterráneos como de infraestructura de riego mediante la canalización del flujo de la presa las vírgenes (Francisco I. Madero), misma que captura las aguas del río San Pedro, un importante tributario del río Conchos, que a su vez, es un afluente de importancia internacional ya que es el principal tributario del río Bravo, en la frontera entre Chihuahua y Texas (Estados Unidos).

La figura 8, que se presenta a continuación, muestra el resultado de la estimación del índice de vegetación. Se incluye el histograma correspondiente para valorar la distribución del indicador por pixel en la zona de estudio.

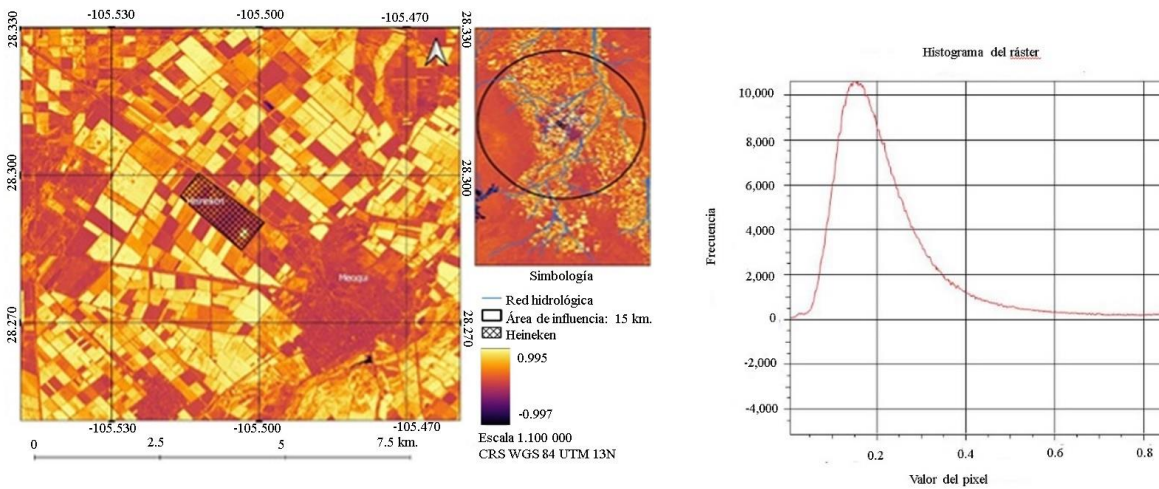


Figura 8. Índice de vegetación NDVI. Zona de influencia planta Cuauhtémoc-Moctezuma Meoqui. Fuente: elaboración propia con datos de European Space Agency.

La estimación permite identificar las zonas con actividad fotosintética propia de la presencia de vegetación asociada a la actividad agrícola en la región. Los resultados indican que el índice se concentra en valores positivos cercanos a 0.20, con importante presencia en el rango 0.2-0.6; sin embargo, en la proximidad de la planta, observamos valores de mayor magnitud representados en la imagen en color amarillo, lo que confirma un territorio con una dinámica actividad de cultivos. Enseguida, en la figura 9, se muestra el resultado para el indicador de humedad que complementa la caracterización realizada a partir de imágenes de satélite del proyecto Sentinel-2.

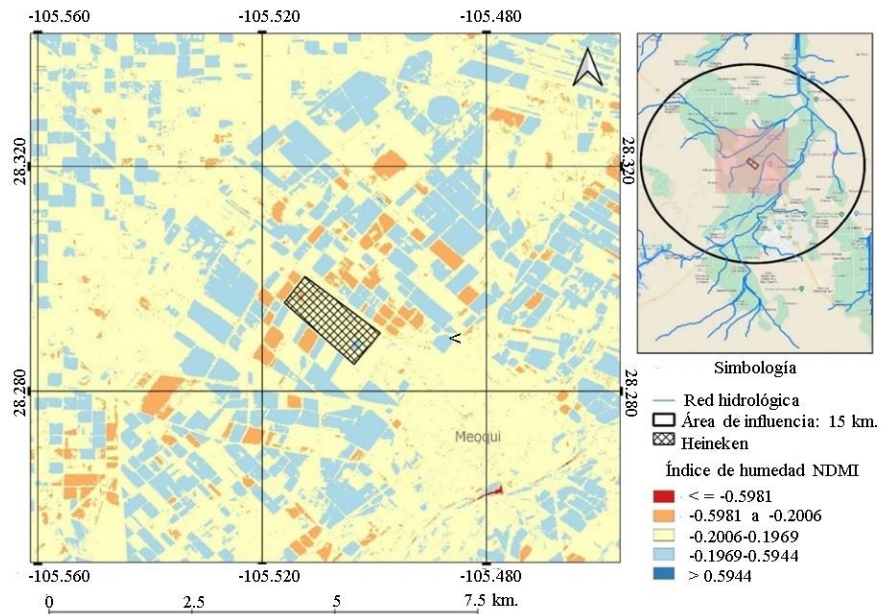


Figura 9. Índice de humedad. Zona de influencia planta Cuauhtémoc-Moctezuma Meoqui. Fuente: elaboración propia con datos de European Space Agency.

La estimación permite distinguir con precisión aquellas áreas con mayor humedad. Se encontró que las inmediaciones de la planta presentan valores del NDMI entre 0.19 y 0.59, lo cual es indicativo de condiciones consistentes con prácticas de riego.

Discusión

La evidencia documentada sobre el patrón de utilización de recursos hídricos en la región de estudio es consistente con prácticas no sustentables en el uso de los recursos hídricos subterráneos, que se suscitan en un contexto de gestión regional que resulta en un desequilibrio en las concesiones otorgadas a los usuarios.

Esta configuración parece encontrar eco en las disyuntivas que se postulan por vertientes de análisis como la teoría de acceso y se suman a la evidencia empírica reportada por casos de estudio cada vez más comunes a lo largo de una diversidad de actividades económicas que requieren la

extracción de recursos hídricos para su desarrollo. En América latina, los casos empíricos se documentan en industrias tan diversas como la minería (Talledos, 2017), producción extensiva monocultivo destinada a la exportación de alimentos como el aguacate (Caro, Sporchia y Borghesi, 2021) y (Damonte y Boelens, 2019) y actividades económicas emergentes como la extracción de gas natural no convencional.

En México, el potencial de conflicto por la asignación de concesiones para el aprovechamiento de recursos hídricos subterráneos destinados a la actividad productora de cerveza se ha discutido por autores como Tapia y Lara (2022). Al respecto, el presente estudio aporta elementos en el debate para comprender el impacto que diversas comunidades de la región frontera norte de México experimentan por la instalación de plantas productoras de cerveza en la última década. Desde el plano teórico, diversos autores, como D'Odorico et al. (2018), se suman al interés por entender estas prácticas y discuten las disparidades resultantes del intercambio comercial que involucra la exportación virtual de recursos hídricos extraídos para elaborar o cultivar productos alimenticios destinados a satisfacer mercados en regiones distintas a los sitios de extracción. Tal como lo señalan los postulados teóricos de la corriente sobre territorios hidrosociales en estudios de Damonte y Boelens (2019), las interacciones que se dan entre los agentes que compiten por los recursos hídricos en un territorio específico permiten contrastar la ponderación entre los intereses económicos y los de índole ambiental. En el caso de la planta productora de cerveza del corporativo Cuauhtémoc-Moctezuma en Meoqui, Chihuahua, el patrón observado de uso y distribución de los recursos hídricos en la región donde se ubica constituyen un ejemplo claro sobre la importancia de incorporar la noción de sustentabilidad en la toma de decisiones que implican la asignación de recursos hídricos.

La presente investigación aporta elementos para aplicar medidas de gestión orientadas a prevenir impactos ambientales adversos y conflictos sociales previsibles en el largo plazo dado el escenario de utilización actual en la región de estudio. Si bien la literatura especializada en el vínculo

de la actividad antropogénica y los recursos hídricos permite identificar vertientes teóricas cada vez más útiles para comprender los impactos ambientales, como la noción de huella hídrica, el comercio virtual de agua (Novoa et al., 2023), o el acaparamiento de agua (Veldwisch, Franco y Mehta, 2023), la perspectiva sobre exportación indirecta que ofrece la presente investigación aportó elementos adicionales que complementan las limitaciones de constructos teóricos previos. Estos elementos se relacionan específicamente con la presencia de las estrategias de relocalización deliberadas que se observan en entornos productivos concretos, como es el caso de la producción de cerveza a escala industrial en el norte de México. Al respecto, los resultados sugieren que el caso de estudio analizado es consistente con la exportación indirecta de recursos hídricos y no así con una estrategia de desarrollo sustentable para la región donde se localiza la planta productora de cerveza.

Conclusiones

La investigación aporta evidencia de que la ejecución del proyecto productor de cerveza por la planta Cuauhtémoc-Moctezuma en el municipio de Meoqui, Chihuahua se da en una zona que presenta condiciones de sobreexplotación del acuífero.

Este trabajo permite mostrar un patrón intensivo de uso de los recursos hídricos asociado a la presencia de actividad agrícola y encontró evidencia de condiciones de acceso inequitativas probadas por un escenario de distribución de alta concentración del volumen de agua concesionado entre un grupo reducido de beneficiarios. Estas condiciones sugieren una capacidad de gestión basada en una estrategia sólida por parte de la industria cervecera global y paralelamente dejan abierto el cuestionamiento sobre la capacidad del manejo de los recursos hídricos a escala local, en particular el asociado a la producción de alimentos, más allá de la regulación existente; un manejo que considere relevante la perspectiva ambiental y las implicaciones de largo plazo de los proyectos ligados a la extracción de recursos hídricos.

Referencias bibliográficas

- Anheuser-Busch InBev S.A. (2022). *Fundación Grupo Modelo: nuestras marcas*. México. Recuperado de <https://www.grupomodelo.com/nuestras-marcas>
- Bamforth, Ch. (2009). *Beer. Tap into the art and science of brewing*. 3ra. ed. Estados Unidos: Oxford University Press, doi: <https://doi.org/10.1093/oso/9780199996742.001.0001>
- Capitello, R. y Maehle, N. (2021). Introduction: global trends in the beer market. Case studies in the beer sector, 19-29. Woodhead Publishing Series in Consumer Sci & Street Market. Woodhead Publishing, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817734-1.00026-4>
- Carmenta, R., Zaehring, J., Balvanera, P., Betley, E., Dawson, N., Estrada, N., Forster, J., Hoelle, J., Lliso, B., Llopis, J., Menon, A., Moeliono, M., Mustin, K., Pascual, U., Rai, N., Schleicher, J., Shelton, C., Sigouin, A., Sterling, E., Steward, A., Tauro, A., White, C., Woodhouse, E. y Yuliani, E. (2023). Exploring the relationship between plural values of nature, human well-being and conservation and development intervention: Why it matters and how to do it? *People and nature* 5(6), 1720-1738, doi: <https://doi.org/10.1002/pan3.10562>
- Caro, D., Alessandrini, A., Sporchia, F. y Borghesi, S. (2021). Global virtual water trade of avocado. *Journal of cleaner production*, 285, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124917>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2023). *Precipitación (mm.) por entidad federativa y nacional*. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/PREC/2021.pdf>
- Conagua (2023). *Acuíferos sobreexplotados. Gerencia de aguas subterráneas*. Recuperado de <https://sigagis.conagua.gob.mx/sobreexplotados/>
- Constellation Brands (2023). *Nuestro recorrido. México*. Recuperado de <https://cbrands.mx/pages/nuestro-recorrido>
- Damonte, G. y Boelens, R. (2019). Hydrosocial territories, agro-export and water scarcity: capitalist territorial transformations and water governance in Peru's coastal valleys. *Water International* 44(2): 206-223, doi: <https://doi.org/10.1080/02508060.2018.1556869>
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 2015). NOM-011-Conagua 2015. México: México: Secretaría de Gobernación. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015#gsc.tab=0
- DOF (2020). *Reglas de operación del Registro Público de Derechos de Agua*. México: Secretaría de Gobernación. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600255&fecha=11/09/2020#gsc.tab=0
- Doan, Minh, y Sercu, P. (2021). Merging one's way to the top: AB Inbev versus Heineken. *Journal of wine economics* 16(1), 32-55. doi: <https://doi.org/10.1017/jwe.2020.27>
- D'Odorico, P., Davis, K., Rosa, L., Carr, J., Chiarelli, D., Dell'Angelo, J., Gephart, J., MacDonald, G., Seekell, D., Suweis, S. y Rulli, M. (2018). The global food-energy-water nexus. *Reviews of Geophysics* 56(3), 456-31, doi: <https://doi.org/10.1029/2017RG000591>
- EOS Data Analytics (EOSDA, 2023). *Normalized difference moisture index*. Recuperado de <https://eos.com/make-an-analysis/ndmi/>
- Foster, C., Green, K., Bleda, M., Dewick, P., Evans, B., Flynn, A. y Mylan, J. (2006). *Environmental impacts of food production and consumption: final report to the Department for environment food and rural affairs*. Recuperado de <https://leanenterprise.org.uk/wp-content/uploads/2018/12/DEFRA-SCP007-ENVIRONMENTAL-IMPACTS-OF-FOOD-CONSUMPTION-AND-PRODUCTION.pdf>
- Gauss, S. y Beatty, E. (2014). The world's beer: The historical geography of brewing in Mexico. The geography of beer: regions, environment and societies, 57-65. *Holanda: Springer Netherlands*. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7787-3_6
- Heineken (2019). *Every drop counts*. Recuperado de <https://www.theheinekencompany.com/newsroom/every-drop-counts/>
- Heineken México (2023). *Nuestras marcas*. Recuperado de <https://heinekenmexico.com/marca>
- Hospido, A., Moreira, M. y Feijoo, G. (2005). Environmental analysis of beer production. *International journal of agricultural resources, governance and ecology* 4(2), 152-62, doi: <https://doi.org/10.1504/IJARGE.2005.007197>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J., Wang, Y. y Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing". *Journal of forestry research* 32(1), 1-6, doi: <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020). *Colección de estudios sectoriales y regionales. Conociendo la industria de la cerveza. Collection 1*. México: INEGI. Recuperado de <https://cervecerosdemexico.com/wp-content/uploads/2021/01/Elaboracion-Cerveza-2021.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023). Clasificación uso de suelo. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/usuarios/>
- Continuo de elevaciones mexicano. *Geographic data*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- Jernigan, D. y Ross, C. (2020). The alcohol marketing landscape: Alcohol industry size, structure, strategies, and public health responses. *Journal of studies on alcohol and drugs. Supplement* 19, 13-25, doi: <https://doi.org/10.15288/jsads.2020.s19.13>
- Kirkby, J., O'Keefe, P. y Timberlake, L. (2023). *Sustainable development: an introduction. The Earthscan reader in sustainable development*, 1-14. Inglaterra: Routledge.
- Massey, A. y Higgins, A. (2023). Geographical connections in brewing: locating place and placelessness in beer production. *The geography of beer: policies, perceptions and place*, 341-348. Cham: Springer Nature Switzerland, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-39008-1_26
- Mishra, R. (2023). Fresh water availability and its global challenge. *British journal of multidisciplinary and advanced studies*, 4(3), 1-78, doi: <https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.0208>
- Mozny, M., Trnka, M., Vlach, V., Zalud, Z., Cejka, T., Hajkova, L., Potopova, V., Mikhail, S., Semeradova, D. y Büntgen, U. (2023). Climate-induced decline in the quality and quantity of european hops calls for immediate adaptation measures. *Nature communications*, 14(1), 6028, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41474-5>
- Novoa, V., Rojas, O., Ahumada, R., Arumí, J., Munizaga, J., De la Barrera, F., Cabrera-, J. y Rojas, C. (2023). Water footprint and virtual water flows from the global south: foundations for sustainable agriculture in periods of drought. *Science of the total environment*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161526>
- Paulín, E. (2018). *Heineken México inaugura su planta más sustentable. México: Heineken México*. Recuperado de <https://heinekenmexico.com/meoqui/sala-de-prensa/detalle-noticia/heineken-mexico-inaugura-su-planta-mas-sustentable>
- Scanlon, B., Fakhreddine, S., Rateb, A., De Graaf, I., Famiglietti, J., Gleeson, T., Grafton, R., Jobbagy, E., Kebede, S., Rao, S., Konikow, L., Long, D., Mekonnen, M., Müller, H., Mukherjee, A., MacDonald, A., Reedy, R., Shamsudduha, M., Simmons, C., Sun, A., Taylor, R., Villholth, K., Vörösmarty, C. y Zheng, Ch. (2023) Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nature reviews earth & environment*, 4(2), 87-101, doi: <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00378-6>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader, 2021). *Cerveza, principal producto agroindustrial de exportación de México*. Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/cerveza-principal-producto-agroindustrial-de-exportacion-de-mexico>
- Swinnen, J. y Briski, D. (2017). *Trading water or terroir? The changing nature of the beer trade. Beeronomics: How beer explains the world*, 136-145, Oxford University Press. ISBN 9780198808305
- Talledos, E. (2017). Agua y ecología política. El extractivismo en la agroexportación, la minería y las hidroeléctricas en Latinoamérica. *Investigaciones geográficas, boletín del instituto de geografía*, 94, 166-167, doi: <https://doi.org/10.14350/ig.59576>
- Tapia, M. y Lara, A. (2022). Procesos fallidos de gobernanza del agua en la región de Mexicali: conflicto socioambiental por la planta cervecera Constellation Brands. *Norteamérica revista académica del CISAN-UNAM*, 1, doi: <https://doi.org/2017/10.22201/cisan.24487228e.2022.1.557>
- United States Department of Agriculture (USDA, 2023). *Definitions: sustainability and food systems. USA: United States Government*. Recuperado de <https://www.usda.gov/oce/sustainability/definitions>
- Veldwisch, G., Franco, J. y Mehta, L. (2023). *El acaparamiento del agua. Prácticas de disputa y apropiación de recursos hídricos en el contexto de la expansión del capitalismo mundial. Justicia hídrica, poder y solidaridad*, 30-95. Ecuador: Editorial Universitaria Abya-Yala- Red Justicia Hídrica-Consorcio Camaren-Centro Bartolomé de las Casas.
- World Bank (2023). *Beer; made from malt exports by country*. Recuperado de <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2019/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/220300>
- Xie, W., Xiong, W., Pan, J., Ali, T., Cui, Q., Guan, D., Meng, J., Mueller, N., Lin, E. y Davis, S. (2018). Decreases in global beer supply due to extreme drought and heat. *Nature Plants* 4(11): 964-973, doi: <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0263-1>
- Yang, D., Yang, Y. y Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and sustainability* 2(2),115-122, doi: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>