

Agua de acuíferos usada para riego de forrajes en Ahumada, Chihuahua, México Aquifer water used for forage irrigation in Ahumada, Chihuahua, Mexico

M. Gress-Davila ^{a,*}, N. P. Pavón ^a

^a Área Académica de Biología, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Resumen

El agua subterránea utilizada para el riego es crucial para la producción de forrajes. Sin embargo, el aumento de la producción agrícola en zonas áridas de México está provocando la sobreexplotación de acuíferos. Del agua utilizada en la agricultura, el 63.6% proviene de acuíferos, y en el país, el 17% de ellos sufre déficit. En zonas áridas, se riega utilizando el sistema de pivote central, que puede resultar ineficiente. En este trabajo se estimó el volumen de agua necesaria para producir forrajes en Ahumada, Chihuahua, México. Para ello se emplearon imágenes de Google Earth, la huella hídrica y el volumen de producción agrícola. Entre 2012 y 2021, el área cultivada fue de 28,635.96 ha, que representó un incremento del 38.32% con respecto al periodo 2007-2015. En promedio, se usaron 226.089 hm³ (2007-2021) para producir alimento para ganados. Anualmente, el uso de agua se está incrementando y esto depende de las variaciones en la producción y el tipo de forraje cultivado.

Palabras Clave: Acuífero, huella hídrica, pivote central, sistema de riego.

Abstract

Groundwater used for irrigation is crucial for forage production. However, the increase in agricultural production in arid areas of Mexico is causing the overexploitation of aquifers. Of the water used in agriculture, 63.6% comes from aquifers, and in the country, 17% of them suffer from deficit. In arid areas, it is watered using the center pivot system, which may prove inefficient. This work estimated the volume of water necessary to produce forage in Ahumada, Chihuahua, Mexico. For this purpose, images from Google Earth, the water footprint, and the volume of agricultural production were used. Between 2012 and 2021, the cultivated area was 28,635.96 hectares, which represents an increase of 38.32% compared to 2007 and 2015. On average, 226,089 hm³ (2007-2021) were used to produce livestock feed. Annually, water use is increasing, and this depends on variations in production and the type of forage grown.

Keywords: Aquifer, center pivot, irrigation system, water footprint.

1. Introducción

México tiene 653 acuíferos de los cuales el 17.6 % están sobreexplotados, en gran parte debido a la extracción de agua para riego agrícola (Comisión Nacional del Agua, 2019). Del agua empleada en la agricultura, el 63.6% proviene de los depósitos subterráneos y solo el 36.4% de aguas superficiales (Salazar-Caballero, 2020). Sin embargo, la recarga de estos depósitos está comprometida por el incremento de la deforestación y la plancha urbana; solo el 6.4% del agua que recibe el país anualmente (1.449 hm³) es para la recarga de los acuíferos (Comisión Nacional del Agua, 2019). El déficit de agua representa un grave problema para lograr la sustentabilidad de la producción agrícola y, en particular, para mantener la calidad de vida de los habitantes del país.

El crecimiento poblacional y el desarrollo económico han elevado la necesidad de productos agropecuarios (Palacios et al., 2016). Lo que justificó que las actividades agropecuarias fueran introducidas en zonas áridas y semiáridas (López et al., 2009) a expensas del agua subterránea almacenada en los acuíferos (Palacios et al., 2016). Sin embargo, estas zonas tienen suelos arenosos que son de los más susceptibles a la degradación, además de que es improbable mantener altos rendimientos de manera sostenible (López et al., 2009).

En zonas áridas y semiáridas se utiliza comúnmente el sistema de pivote central, caracterizado por su patrón circular de irrigación, que puede ser apreciado mediante imágenes satelitales (Tamburrino, 2008). El sistema de riego hace uso

*Autor para la correspondencia: gr421248@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: gr421248@uaeh.edu.mx (Margarita Gress-Davila), npavon@uaeh.edu.mx (Numa P.-Pavón).

de agua subterránea, proveniente de acuíferos (Riera et al., 2015), y es usado, de forma eficiente, en sitios de cultivos de forraje con suelo arenoso o con problemas topográficos (SAGARPA, 2006; Uribe et al., 2001). Además, es un ejemplo de tecnología que se ha sumado al proceso productivo de cultivos extensivos, para obtener altos rendimientos (Ramírez et al., 2005). Sin embargo, este sistema de riego puede generar consumo excesivo de agua; por lo tanto, tiene baja eficiencia en el uso del agua para diferentes cultivos (Brik et al., 2020).

En el presente trabajo se analizó el uso de agua usando el sistema de pivote central en la producción de especies forrajeras en el Municipio de Ahumada, Chihuahua, México.

2. Objetivo general

Analizar la variación temporal en el volumen de agua extraído de acuíferos para el riego de especies forrajeras en Ahumada, Chihuahua, mediante imágenes de satélite, producción agrícola y huella hídrica. El trabajo es un estudio de caso que evidencia la sobreexplotación de acuíferos con fines agrícolas en zonas áridas en México.

3. Justificación

La sobreexplotación de acuíferos es una problemática que ha ido en aumento en México y la actividad agrícola representa una de las causas que desencadena este fenómeno. Sin embargo, debido a la demanda de productos agrícolas, como forrajes, esta actividad ha sido introducida en zonas áridas, las cuales requieren de gran cantidad de agua. Ante la presente problemática, es importante obtener evidencia que nos indique el efecto de los sistemas de riego en el déficit hídrico que sufre gran parte de las zonas áridas y semiáridas del país.

4. Antecedentes

En México, los tres principales sectores consumidores de agua son el agrícola, abastecimiento público y uso industrial (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022). Dentro de estos sectores, la actividad agrícola emplea 77 % del agua disponible en el país (Comisión Nacional de Agua, 2017). Con la llegada del cambio climático, los patrones de precipitación y temperatura han cambiado, efectos que se manifiestan en los procesos asociados al ciclo hidrológico (Ojeda et al., 2012).

Mediante riego por pivote es posible cubrir extensiones amplias de cultivo, como las de maíz o soja, lo cual permite mitigar el déficit de agua en temporadas críticas o periodos prolongados de sequía (Barrabía, 2017). Funciona haciendo uso de aguas subterráneas, para después girar alrededor de un punto central, lo que da lugar a áreas de cultivo circulares. La adopción de este sistema de riego se ha venido implementando desde los años 40 por medio de máquinas de gran tamaño con

una serie de aspersores elevados apoyados en cada una de las torres. Fue en los años 70 que se intensificó el uso del pivote central, con la llegada de máquinas mucho más ligeras, simples y estandarizadas. El uso de esta técnica de riego solo es evidente al utilizar imágenes satelitales, ya que en el área de cultivo resulta difícil visualizar el cambio de las formas de los tradicionales rectángulos a círculos (Traxco, 2016).

La sobreexplotación de los acuíferos es un grave problema que ha ido en aumento, pues en el año 1975 existían 32 acuíferos en esta condición, en 2004 eran 104 y en 2019 la cifra ascendió a 157 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018). El estado de Chihuahua posee un total de 61 acuíferos, 43 de ellos sin disponibilidad de agua para otorgar nuevas concesiones y 18 con disponibilidad para otorgar nuevas concesiones (Comisión Nacional del Agua, 2020f).

El impacto que los seres humanos generamos al consumir el agua dulce del planeta puede ser medido por medio de la huella hídrica (Bautista et al., 2015). Para fines del presente trabajo se utilizó el concepto de huella hídrica de un cultivo, el cual hace referencia al volumen de agua empleado en un cultivo (m^3/ha) dividido entre su rendimiento (ton/ha) (del Mercado et al., 2012).

4.1 Municipio de Ahumada

El municipio de Ahumada se encuentra a 1,200 metros de altitud, el cual limita al norte con Juárez y Guadalupe D.B., al sur con Chihuahua y Aldama, al este con Coyamel y Guadalupe D.B., y al oeste con Buenaventura y Ascensión (Fig. 1). El clima de la región es semiárido, con 212 mm de lluvia anual, y la temperatura media varía entre 15 y 25°C (Enríquez-Anchondo, 2003).

La producción agrícola de la región de Ahumada se mantiene básicamente por riego, con 95 % de la superficie establecida (27,465 ha). El 41 % de la superficie agrícola se ha utilizado para la producción de forrajes (alfalfa, sorgo y maíz), 33 % corresponde a la producción de algodón, 11 % para la producción de granos (trigo y sorgo), y 9 % para árboles frutales (nuez y pistacho). Por otro lado, solo el 6 % de la superficie agrícola es de temporal, para producir forrajes (maíz y avena) y granos básicos (frijol y sorgo) (Gobierno del Estado de Chihuahua, 2011).

Con datos de la Comisión Nacional del Agua (2020 f), se ubicaron cinco acuíferos dentro del área territorial correspondiente al municipio de Ahumada, los cuales fueron: Laguna de Tarabillas, Laguna de Patos, Laguna de Santa María, Flores Magón-Villa Ahumada y Laguna de Hormigas (0824). Estos cinco acuíferos no cuentan con agua para otorgar nuevas concesiones de acuerdo con la disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA).

La DMA se refiere al volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a

los ecosistemas. La DMA se determina al restar el volumen de recarga total media anual (R), el valor de la descarga natural comprometida (DNC) y el volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) (Comisión Nacional del Agua, 2020c).

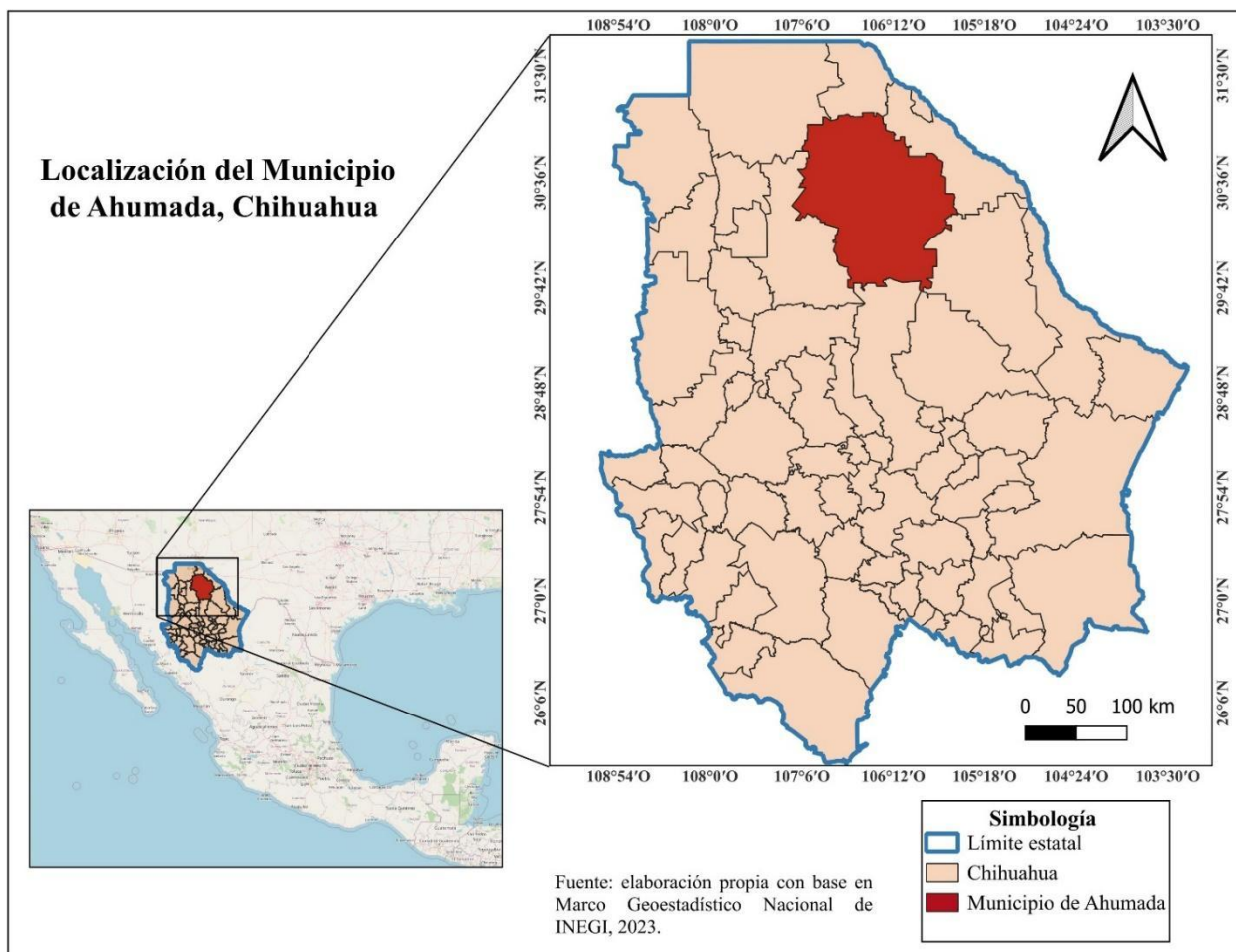


Figura 1: Mapa de localización del Municipio de Ahumada, Chihuahua, México.

5. Hipótesis

El agua subterránea usada para riego de especies forrajeras se ha incrementado a la par que el volumen de producción. Esta relación está generando la sobreexplotación de los acuíferos en el municipio de Ahumada, Chihuahua.

6. Materiales

Durante la realización de este trabajo se utilizó Google Earth Pro, acceso a datos de Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), así como registros de la huella hídrica por tipo de cultivo.

7. Métodos

7.1. Trabajo en Google Earth Pro

Se revisaron las imágenes de satélite que proporciona el sistema de información

geográfica Google Earth Pro para el municipio de Ahumada, Chihuahua. Las parcelas agrícolas se identificaron por su característica forma circular que genera el sistema de riego de pivote central. Se contabilizaron las parcelas circulares, y se midió su área.

Las parcelas fueron clasificadas por el color que presentaron, con las siguientes categorías: verde (campo con cultivo), beige (sin evidencias de cultivo), y marrón (campo seco o arado) (Tabla 1). Solo las parcelas verdes fueron consideradas para estimar el área cultivada. Mientras que para el área total se usaron los datos de todas las parcelas sin considerar el color.

El proceso anterior se realizó para los años 2012-2021 (imágenes disponibles

más recientes) y 2007-2015 (imágenes cinco años previos).

7.2. Obtención de datos de la plataforma SIAP

Se recabó información del cierre agrícola de la plataforma de Servicios de Información Geográfica y Pesquera (SIAP) para el municipio de Ahumada, Chihuahua; datos por tipo de cultivo con riego de superficie agrícola, volumen de producción y rendimiento para los años de 2007-2015 y 2012-2021.

7.3. Determinación de la cantidad de recurso hídrico empleado en los diferentes tipos de cultivo de forraje

Se estimó la cantidad de agua utilizada para riego, multiplicando el volumen de producción de los forrajes en la zona de estudio por la huella hídrica de cada especie forrajera.

La huella hídrica es la cantidad de agua (m³) necesaria para producir una tonelada del producto. Debido a que cada tipo de especie forrajera tiene diferentes reportes de huella hídrica, se reportó el promedio. Los valores de huella hídrica fueron obtenidos de distintos autores que se citan en la (Tabla 2). Las especies forrajeras consideradas en este trabajo fueron alfalfa, avena, maíz, sorgo y trigo. El agua utilizada para riego se mostró en hectómetros (hm³). Un hectómetro equivale a 1,000,000 m³.

8. Resultados

En total, se marcaron 1027 campos de cultivo que emplean el sistema de riego por pivote central. Entre 2012 y 2021, se presentó una mayor área total ocupada por cultivos (28,635.96 ha), en comparación con el periodo 2007-2015, que fue de 17,662.79 ha, lo cual representa un incremento del 38.32%. En el periodo más reciente, hay un

Tabla 2: Agua estimada (hm³) para generar el volumen de producción de especies forrajeras en el Municipio de Ahumada, Chihuahua, México. En letras cursivas se resaltan los valores de producción más altos.

	2007	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2019	2020	2021
Avena forrajera¹, con huella hídrica promedio de 868 m³/t												
Volumen producción (t)	11,518	480	N/A	1,378.4	88,110	13,550	5,760	5,354.5	6,292	3,556	5,925	12,760
Agua empleada	9.997	0.416	N/A	1.196	76.47	11.761	4.999	4.647	5.461	3.086	5.142	11.075
Maíz forrajero², con huella hídrica promedio de 327.77 m³/t												
Volumen producción (t)	6,870	N/A	60,567	1,224	2,044	10,792	10,974.54	14,275	N/A	5,500	25,465	16,575
Agua empleada	2.251	N/A	19.852	401.191	0.669	3.537	3.597	4.679	N/A	1.803	8.347	5.433
Alfalfa forrajera³, con huella hídrica promedio de 833.5 m³/t												
Volumen producción (t)	66,972	66,000	N/A	89,088	102,458.2	131,076	125,446.6	127,785.2	131,735.05	129,092.6	134,128	127,454.4
Agua empleada	55.821	55.011	N/A	74.254	85.398	109.251	104.559	106.508	109.801	107.598	111.795	106.233
Sorgo forrajero⁴, con huella hídrica promedio de 969 m³/t												
Volumen producción (t)	41,976	17,000	12,330	1,750	2,340	1,449	500	2,668	5,120	3,125	2,240	3,990
Agua empleada	40.674	16.473	11.947	1.695	2.267	1.404	0.484	2.585	4.961	3.028	2.170	3.866
Trigo⁵, con huella hídrica promedio de 3,269.65 m³/t												
Volumen producción (t)	19,450.4	72,114	85,250	65,822.4	28,565	35,811	47,915.5	22,536	18,016	14,800	10,065	11,001
Agua empleada	63.596	235.787	278.737	215.216	93.397	117.089	156.666	73.684	58.906	48.390	32.909	35.969

Fuentes que reportan valores de huella hídrica de especies forrajeras: ¹ Kannan et al., 2017; Zotou y Tsihrintzis, 2017; Lu et al., 2018. ² Kannan et al., 2017; D'Ambrosio et al., 2018; Yerli et al., 2019. ³ Scheepers y Jordaan, 2016; Yerli et al., 2019; Aumassanne et al., 2018; Lu et al., 2018. ⁴ Kannan et al., 2017. ⁵ D'Ambrosio et al., 2018; Zotou et al., 2017.

aumento importante en las parcelas color marrón y beige (Tabla 1). Esto implica un mayor número de parcelas no utilizadas, posiblemente por agotamiento de suelo y/o de agua para regarlas.

Color general	Área (hectáreas)	
	2012-2021	2007-2015
Beige	15,282.73	13,788.59
Verde	28,635.96	17,662.79
Marrón	11,770.07	3,670.27
Hectáreas que dejaron de existir	193.47	20,760.58
Total	55,882.23	55,882.23
Total, menos hectáreas que dejaron de existir	55,688.76	35,121.65

Tabla 1. Área en hectáreas de campos verdes, beige y marrones, para dos periodos de tiempo.

8.1. Agua empleada en los cultivos de interés

Se estimó la cantidad de agua necesaria para producir los cinco tipos de cultivos seleccionados por año (Tabla 2).

En promedio anual, se utilizaron 226.089 hm³ (2007-2021) de agua para la producción de forrajes destinados como alimento para ganado. El año en que se empleó una menor cantidad de agua para los productos de interés fue en 2020, con 160.365 hm³, y el año en que se empleó una mayor cantidad de agua fue en 2010, con 310.537 hm³, pero solo para la producción de 3 especies forrajeras (maíz, sorgo y trigo). En 2010, el volumen de producción de maíz, sorgo y trigo fue mayor que en 2020 (Tabla 2). En general, el trigo es el producto que utiliza mayor volumen de agua.

En 2007 se requirió menor cantidad de agua para riego en comparación con el periodo 2008-2015, cuando el agua requerida tuvo los valores más altos. Sin embargo, entre 2016 y 2021 ocurrió una disminución del agua empleada, ya que, con excepción de la alfalfa forrajera, el volumen de producción de avena, maíz, sorgo y trigo disminuyó (Tabla 2).

9. Discusión

Existen diversas causas que desencadenan la sobreexplotación de acuíferos, como lo son la agricultura, la perforación de pozos ilegales y de libre

alumbramiento, las irregularidades institucionales, así como las sequías (Martínez, 2020).

La realización de los pozos ilegales y de libre alumbramiento es una actividad que se volvió difícil de frenar. Estos pozos se encuentran fuera de los polígonos de veda y, según las instituciones, no se necesitaba de un permiso para su construcción. En 1917, fue legislada esta forma de aprovechar el agua en zonas sin veda, al desconocer las particularidades de las aguas subterráneas, por lo que no se vio razón de cuidar o limitar la extracción en ese momento particular. Y aunque para 2013 el poder ejecutivo federal decretó una suspensión del libre alumbramiento a nivel nacional, las irregularidades previas generalizaron la práctica de perforar pozos sin permisos (Martínez, 2020).

Para el año 2020, existían 32,145 pozos en el estado de Chihuahua, teniendo el mayor porcentaje de demanda de agua el sector agrícola, con un 89.76%. En referencia al sistema de pivote central, en la agricultura este es ampliamente utilizado en cultivos de forrajes (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2006). Durante la presente investigación, se reportó un incremento del 38.6 % de campos que emplean sistema de pivote central en el municipio de Ahumada, Chihuahua. Este incremento se ve reflejado en un aumento del área total de cultivo. Para el periodo 2012-2021, el área cultivada fue de 28,635.96 hectáreas, representando un incremento de 38.3 % con respecto al periodo 2007-2015. En ambos periodos se presentó una cantidad considerable de campos sin cultivos y arados; los campos sin cultivo, para el primer periodo de tiempo, corresponden a una extensión de 15,282.73 hectáreas, mientras que 5 años antes, el área total de campos sin cultivo fue de 13,788.59 hectáreas, en tanto la extensión de los campos arados fue de 11,770.07 hectáreas para el primer periodo y de 3,670.27 hectáreas 5 años atrás. Lo que se explica por la falta de sincronía entre los meses de mediciones (enero-marzo y noviembre-diciembre) con los tiempos de cultivo de los cinco productos agrícolas principales. El maíz forrajero se cultiva de abril a octubre (Guerra, 2014), la alfalfa forrajera de mayo a septiembre (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2018), la avena forrajera de mayo a

noviembre (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023), el trigo en grano de mayo a junio (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2017), y el sorgo forrajero de marzo a junio (Martínez et al., 2005).

La situación de los acuíferos que abastecen al municipio es delicada, debido a que los cinco acuíferos que corresponden al municipio se encontraron sin disponibilidad de agua para otorgar nuevas concesiones, reportándose en Ahumada el uso agrícola como principal usuario del agua. La situación de los acuíferos es la siguiente:

- En el 32 % del acuífero Lagunas de Tarabillas fueron establecidas dos vedas, mientras que el 68% restante se reportó en condición de libre alumbramiento de las aguas del subsuelo. Para 2006, se reportaron 93 captaciones en operación con un volumen de extracción de 3.3 hm³, de lo cual 77 % estuvo destinado a uso agrícola. El acuífero presentó un déficit de 287.103 hm³ anuales de agua, que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero (Comisión Nacional del Agua, 2020 e).
- La laguna de Patos se reportó parcialmente vedada como tipo III, situación en la que se permiten las extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros, siendo, en este caso, el agua utilizada principalmente para la agricultura. En cuanto a la disponibilidad media anual, existió un déficit de 96.830 hm³ (Comisión Nacional del Agua, 2020 c).
- En la laguna de Santa María, el 57% del territorio estaba sujeto a la disposición de decretos de veda y el porcentaje restante como zona de libre alumbramiento. Para 2006, el volumen de extracción estimado fue de 217,152 m³/año, valor sujeto a aumento, ya que, en ese momento, se identificaron un número importante de pozos en etapa de perforación. El déficit hídrico fue de 419.838 hm³ anuales (Comisión Nacional del Agua, 2020 d).
- El acuífero Flores Magón-Villa Ahumada se encontraba en veda como tipo III, siendo el agua usada principalmente para uso agrícola, y con una disponibilidad media anual con déficit de 118.627 hm³ de agua (Comisión Nacional del Agua, 2020 a).
- El acuífero Laguna de Hormigas, de uso principalmente agrícola, reportó una disponibilidad media anual con déficit de 118.626 hm³ de agua (Comisión Nacional del Agua, 2020 b).

Como fue expuesto, en los cinco acuíferos correspondientes al municipio de Ahumada, el volumen medio anual de agua tuvo valores negativos, debido a que se está extrayendo más agua de la que entra en forma de recarga. Esta tendencia también se observó en las grandes llanuras del sur de los EE. UU., donde se encuentra una porción significativa de las áreas agrícolas intensivamente cultivadas, debido a que la agricultura de esta región depende principalmente del acuífero subterráneo de Ogallala, que presenta disminución en diversas zonas debido al exceso de extracción y al lento proceso de recarga (Rajan et al., 2015).

A pesar de que los campos de cultivo han venido aumentando de 2007 a 2021 en el municipio de Ahumada, se ha observado un fenómeno relacionado con la variación de volumen de producción. En 2007, el volumen inicial de agua fue de 172.341 hm³ y para el periodo 2008-2015 el volumen se incrementó con hasta 310.537 hm³, para 2010. Sin embargo, de 2016 a 2021 el volumen ha disminuido hasta 162.577 hm³ para el 2021. Esta disminución del volumen de agua está relacionada con la caída de la producción de avena forrajera, maíz forrajero, sorgo forrajero y del trigo.

Por otro lado, el trigo que tiene la huella hídrica más alta (3,269.65 m³/t) fue el que empleó una mayor cantidad de agua, con excepción de los años 2016, 2017, 2020 y 2021, en los que el volumen de producción de alfalfa fue mayor que el de trigo.

Las frecuentes sequías conducen a que la extracción de agua supere la recarga de los acuíferos, ya que los cultivos estacionales hacen un mayor uso del agua subterránea (Martínez, 2020). Las sequías intensas motivan a que una tercera parte del año los productores acudan a comprar forrajes y concentrados para el ganado. La producción de forrajes constituye el principal uso de suelo en sistemas de producción extensivos de monocultivo en los sistemas de producción ganadera, pero su manejo y producción resulta cada vez más complicado, bajo un contexto de modificación de temporadas de lluvia y sequía (Cuevas et al., 2022).

Las consecuencias del desabasto de agua recaen sobre los habitantes. De acuerdo con Martínez (2020), las poblaciones asentadas en sitios áridos y semiáridos dependen de las aguas subterráneas de los acuíferos para subsistir; derivado de ello, el fenómeno de la sobreexplotación de acuíferos en Chihuahua ha generado serias implicaciones sociales a corto plazo, que se intensificarán ante ciertas condiciones de vulnerabilidad social, debido a que la mayoría de las fuentes de abastecimiento del estado de Chihuahua son subterráneas.

10. Conclusión

Se determinó un incremento en el número de campos de cultivo circulares dentro del municipio de Ahumada, Chihuahua entre 2007 y 2021. Simultáneamente, los cinco acuíferos que abastecen al municipio de Ahumada en 2020 se encontraron en cifras rojas, siendo mayor la descarga de estos que la recarga, y dentro de los cuales el mayor beneficio lo ha obtenido el uso agrícola. Ahora bien, a pesar de que los campos de cultivo que emplean el sistema de riego por pivote central han venido aumentando en número, son la elevada huella hídrica y la alta producción que tienen las especies forrajeras los factores que generan el impacto negativo sobre los mantos acuíferos.

Referencias

- Aumassanne, C., Fontanella, D., Beget, M., Di Bella, C., y Sarter, P. (2018). Estimación de la huella hídrica de alfalfa y maíz en el área bajo riego de la provincia de La Pampa, Argentina. In: Agua, I.N.d. (Ed.), 4° Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos, Argentina, p. 11.
- Barrabía Izquierdo, O. (2017). Desarrollo de un sistema de información geográfica para el manejo del riego por pivote central en la empresa de cultivos varios "Valle del Yabú" [Trabajo de Diploma (en opción al título de ingeniero Agrónomo)]. *Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas*.
- Bautista, E. A. S., Roa, J. R. V., y Ortega, J. A. T. (2015). Estimación de la huella hídrica para un cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Publicaciones e investigación*, 9, 135-146. DOI: <https://doi.org/10.22490/25394088.1439>
- Brik, M., Guerrah, A., y Atia, A. (2022). Water-energy nexus: A systematic analysis and evaluation of a center-pivot irrigation system. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(3), 8299-8313. DOI: <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2120929>
- Comisión Nacional del Agua. (2017, 22 de febrero). *Mejorar el aprovechamiento del agua en el campo, compromiso de la Conagua*. Gobierno de México. Recuperado 24 de septiembre de 2023, de <https://www.gob.mx/conagua/articulos/mejorar-el-aprovechamiento-del-agua-en-el-campo-compromiso-de-la-conagua?idiom=es>
- Comisión Nacional del Agua. (2019). Estadísticas del agua en México 2019. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Recuperado el 15 de agosto de 2023, de https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EA_M_2019.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2020a, diciembre). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero laguna de Flores Magón-Villa Ahumada (0821), Estado de Chihuahua*. Recuperada el 20 de junio de 2023, de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/chihuahua/DR_0821.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2020b, diciembre). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero laguna de Hormigas (0824), Estado de Chihuahua*. Recuperada el 20 de junio de 2023, de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/chihuahua/DR_0824.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2020c, diciembre). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero laguna de Patos (0817) Estado de Chihuahua*. Recuperada el 20 de junio de 2023, de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/chihuahua/DR_0817.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2020d, diciembre). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero laguna de Santa María (0818), Estado de Chihuahua*. Recuperada el 20 de junio de 2023, de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/chihuahua/DR_0818.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2020e, diciembre). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero laguna de Tarabillas (0814), Estado de Chihuahua*. Recuperada el 20 de junio de 2023, de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/chihuahua/DR_0814.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2020f, 17 de septiembre). *Disponibilidad Media Anual de Aguas Subterráneas*. Gobierno de México. Recuperado 13 de noviembre de 2022, de <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/chihuahua/chihuahua.html>
- Cuevas-Reyes, V., Loaiza-Meza, A., Reyes-Jiménez, J.E., Gutiérrez-Gutiérrez, O.G., y Sánchez-Toledano, B.I. (2022). Problemática de ganadería y producción de forraje en el sur de Sinaloa bajo un contexto de cambio climático. *Memoria de XXXIV Semana Internacional de Agronomía*, 1161-1166.
- D'Ambrosio, E., De Girolamo, A.M., y Rulli, MC. (2018). Evaluar la sostenibilidad de la agricultura a través del análisis de la huella hídrica y actividades de monitoreo en la corriente. *Revista de producción más limpia*, 200, 454-470. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.229>
- Enríquez-Anchondo I. D. (2003). Las cactáceas de Samalayuca. *Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de La UACJ*, 2(1), 55–62.
- del Mercado-Arribas, R. V., y Rodríguez, M.Ó.B. (2012). Huella Hídrica de América Latina: retos y oportunidades. *Aqua-LAC*, 4(1), 41-48. DOI: <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2012-v4-1-05>
- Guerra, P., Lara, C., y Saucedo, R. (2014). *Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua*. (Nro.1). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Gobierno del Estado de Chihuahua. (2011). *Programa Sectorial, Desarrollo Rural 2004-2010*. Autor.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Sobreexplotación y contaminación*. Recuperado 24 de septiembre de 2023, [https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/sobreexplota.aspx?tema =](https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/sobreexplota.aspx?tema=)
- Jiménez-Espinosa, E. R., González-Baucells, P., y Domínguez González, M. (2012). Relación entre parámetros de uniformidad de riego en máquinas de pivote central. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3), 18-22.
- Kannan, N., Osei, E., Gallego, O. y Saleh, A. (2017). Estimación de la huella hídrica verde de la alimentación animal para la producción de ganado vacuno en las Grandes Llanuras del Sur. *Recursos hídricos e industria*, 17, 11-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2016.12.002>
- López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., y Rodríguez-Quezada, G. (2009). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34(2), 121-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2016.12.002>
- Lu, Y., Payen, S., Ledgard, S., Luo, J., Ma, L., y Zhang, X. (2018). Componentes de la alimentación que afectan la huella hídrica de los sistemas de granjas lecheras de corrales de engorde en el norte de China. *Revista de Producción más Limpia*, 183, 208-219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.165>
- Scheepers, M.E., y Jordaan, H. (2016). Evaluación de la huella hídrica azul y verde de la alfalfa para la producción de leche en Sudáfrica. *Sostenibilidad*, 8 (1), 49. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8010049>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2006). *Evaluación Programa de Fomento Agrícola 2005*. Gobierno de México. Recuperado 16 de marzo de 2022, de <https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2018/11/20/1539/20112018-2005-chh-fa-2005.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). *Informe del medio ambiente, agua*. Gobierno de México. Recuperado 23 de junio de 2022, de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.htm#:~:text=La%20agricultura%2C%20con%20excepci%C3%B3n%20de,Aquastat-FAO%2C%202018>
- Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. (2017, 28 de abril). *Se incrementó la producción de trigo "Hecho en México" 14.6% en 2016*. Gobierno de México. Recuperado 23 de junio de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-incrementa-produccion-de-trigo-hecho-en-mexico-14-6-en-2016>
- Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. (2018, 11 de octubre). *Alfalfa verde, producción y comercio exterior*. Gobierno de México. Recuperado 23 de junio de 2023, de <https://www.gob.mx/siap/articulos/alfalfa-verde-produccion-y-comercio-exterior>

- Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. (2023, 3 de febrero). *Producción de avena forrajera en Parres El Guarda, Tlalpan, Ciudad de México*. Gobierno de México. Recuperado 23 de junio de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/cdmx/articulos/produccion-de-avena-forrajera-en-parres-el-guarda-tlalpan-ciudad-de-mexico?idiom=es>
- Martínez-Villa, J., Silva-Sáenz, R. A., y Cuéllar-Villareal, E. J. (2005). Guía para cultivar sorgo forrajero de riego para pastoreo, verdeo y henificado en el norte y centro de Coahuila. [Folleto para productores No. 7, INIFAP]. *Coahuila, México*.
- Martínez, E. A. R. (2020). La construcción social de la sobreexplotación de acuíferos en el estado de Chihuahua. *Fronteras y organizaciones*, 2(1), 1-15.
- Mekonnen, M. M. y Hoekstra, A.Y. (2011). La huella hídrica verde, azul y gris de los cultivos y productos agrícolas derivados. *Hidrología y ciencias del sistema Terrestre*, 15, 1577-1600. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Rojano, A., y Íñiguez, M. (2012). Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. Martínez-Austria, P. F., y C. Patiño-Gómez (eds). Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en México. Vol. IV. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua pp: 71-119
- Palacios-Vélez, O. L., y Escobar-Villagrán, B. S. (2016). La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(2), 5-16.
- Rajan, N., Maas, S., Kellison, R., Dollar, M., Cui, S., Sharma, S. y Attia, A. (2015). Uniformidad del emisor y eficiencia de aplicación para sistemas de riego de pivote central. *Riego y Drenaje*, 64 (3), 353-361. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.1878>
- Ramírez Herrera, P. A., Sandoval Briones, C., y Rodríguez Herrera, E. (2005). *Determinación de la incidencia de distintas enfermedades en frijol (Phaseolus vulgaris L.), Soya (Glycine max L.) y girasol (Helianthus annuus L.), cultivados bajo dos sistemas de riego: aspersión mediante pivote central y riego por surcos* [Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía].
- Riera, C., y Barrionuevo, N. (2015). La expansión del riego por aspersión en dos áreas agroecológicas de la provincia de Córdoba (1997-2011). *Estudios Socioterritoriales*, 18, 115-137.
- Salazar-Caballero, A. A. A. (2020). La Sequía en México, un efecto más de la crisis climática en los recursos hídricos. *Impluvium (Publicación Digital de la Red del Agua UNAM)*, 10, 27-33.
- Tamburrino, M. S. (2008). *Estudio del cambio en la demanda de agua para riego y su impacto en los acuíferos: aplicación para el partido de Rojas, Buenos Aires* [Doctoral dissertation, Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales].
- Traxco. (2016, 19 de agosto). *Cambio en la forma de los cultivos*. Traxco, S.A. Recuperado 3 de octubre de 2022, de <https://www.traxco.es/blog/pivotes-de-riego/cultivos-circulares>
- Uribe, H., Lagos, L., y Holzaphel, E. (2001). *Pivote Central [en línea]*. Inst. Comisión Nacional de Riego, Corporación de Fomento de la Producción, Chile. Recuperado 13 de noviembre de 2022, de <https://hdl.handle.net/20.500.14001/33791>
- Yerli, C., Şahin, Ü., Kızıloğlu, F.M., Tüfenkçi, Ş., y Örs, S. (2019). Huella hídrica del ensilaje de maíz, patata, remolacha azucarera y alfalfa en la provincia de Van. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Dergi de Ciencias Agrícolas*, 29 (2), 195-203. DOI: 10.29133/yyutbd.541890
- Zotou, I. y Tsihrintzis, V.A. (2017). La huella hídrica de los cultivos en el área de Mesogeia, Attiki, Grecia. *Procesos Ambientales*, 4, 63-79. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0260-9>