



# LA NORIA

## Digital



- **Los principios de cuidado y ayuda en el modelo Pronaces Agua**
- **Uso nocivo del agua en la agroindustria del Occidente de México. Desviación de la producción agropecuaria**
- **La necesidad de pensar en salvavidas climáticos**
- **Estimación del consumo de agua por la vegetación y los cultivos a partir de información satelital. Aplicación al caso de la Comarca Lagunera**
- **Las Organizaciones de Base Comunitaria (OBC) en los Pronaii del Pronaces Agua, de Conacyt**



Publicación electrónica mensual del Programa Nacional Estratégico del Agua (Pronaces Agua), del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)

### **Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMA V)**

Dra. Leticia Myriam Torres Guerra  
Directora General

Dr. Alfredo Aguilar Elguezabal  
Director Académico

### **Comité Editorial**

#### **Editor en jefe**

Dr. Jorge Martínez Ruiz  
Comité Ejecutivo del Pronaces Agua

#### **Integrantes**

Dra. Mayrén Alavez Vargas  
Investigadora por México, Conacyt

Dra. Patricia Ávila García  
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y  
Sustentabilidad (IIES, UNAM)

Dr. José Raúl García Barrios  
Centro Regional de Investigaciones  
Multidisciplinarias (CRIM, UNAM)

Dr. Eduardo Pérez Denicia  
Investigador por México, Conacyt

Mtro. Octavio Rosas Landa Ramos  
Facultad de Economía, UNAM

Dra. Leticia Myriam Torres Guerra  
Centro de Investigación en Materiales Avanzados  
(CIMA V)

### **Diseño, formación editorial e ilustración**

Dr. Juan Angel Torres Rechy  
Mtro. Fernán González Hernández  
C. Francisco Rodríguez Malo

### **Apoyo técnico**

Mtra. Diana Rosa Pérez Serrano  
Quím. Luis Alberto Hernández Canales  
Econ. José Valdemar Díaz Hinojosa

### **Créditos de las ilustraciones**

Las ilustraciones de las páginas 8, 10 y 12 son de Santiago Moyao, en el marco del proyecto Comunicación territorial y creación de espacio público a través de las HCTI, del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Se reproducen con autorización.

La Noria *Digital* se publica gracias al apoyo de Conacyt al proyecto "Consolidación del Programa Nacional Estratégico en conocimiento y gestión en cuencas del ciclo socio-natural del agua, para el bien común y la justicia ambiental" (318987).

Todos los artículos son responsabilidad de sus autores.

# ÍNDICE

Editorial	4
Los principios de cuidado y ayuda en el modelo Pronaces Agua	7
Uso nocivo del agua en la agroindustria del Occidente de México. Desviación de la producción agropecuaria	13
La necesidad de pensar en salvavidas climáticos	19
Estimación del consumo de agua por la vegetación y los cultivos a partir de información satelital. Aplicación al caso de la Comarca Lagunera	24
Las Organizaciones de Base Comunitaria (OBC) en los Pronaii del Pronaces Agua, de Conacyt	32

# Estimación del consumo de agua por la vegetación y los cultivos a partir de información satelital. Aplicación al caso de la Comarca Lagunera [1]

Vicente Torres Rodríguez \*

Andrea Bolongaro Crevenna Recaséns \*

Colectivo de Investigación e Incidencia del Pronaii  
Disponibilidad de agua en México: balance multidimensional \*\*

## Introducción

El ciclo socionatural del agua comprende los diversos procesos naturales y sociales que intervienen en el paso del agua de una a otra fase (biósfera, atmósfera, subsuelo), o de uno a otro lugar (embalses, trasvases, extracción), así como los procesos sociales inherentes al derecho humano al agua, que en muchos lugares llevan a conflictos hidrosociales por fenómenos de despojo, mercado, acaparamiento y especulación del agua, así como a intervenciones fallidas de los sistemas de gestión integral del agua. Resultados comunes son la escasez de agua para la población, contaminación, baja disponibilidad y distribución inicua.

De acuerdo con los datos del Registro Nacional de Derechos de Agua en México

(REPD, actualizados a mayo de 2022), las concesiones de agua a particulares, empresas e instituciones reflejan a nivel nacional una priorización del uso del agua en orden inverso a la naturaleza, dando prioridad al uso para la generación de energía eléctrica (47.8%), el uso agrícola subordinado (26.59%), el público urbano (12.02%), diferentes usos (5.38%), el industrial (3.1%), los servicios (1.38%), el doméstico (0.04%), y el sostenimiento de los ecosistemas (0.01%) [2].

Otro fenómeno antrópico a destacar es el efecto del cambio climático en el ciclo socionatural del agua, donde el calentamiento global potencia eventos como la sequía, inundaciones, incendios forestales, cambio de nivel del mar y graves perturbaciones en el sostenimiento del equilibrio hídrico, climático e hidrosocial.

---

\* Academia Nacional de Investigación y Desarrollo AC

\*\* José Alonso Aguilar-Ojeda, Marisol Anglés Hernández, Miguel Ángel Blancas Ornelas, Daryl Cruz Flores, Gerardo Jiménez González, Gabriel Origel Gutiérrez, Rosario Origel Gutiérrez, Héctor Emilio Macías Jurado, Julio Martínez Sánchez, Lorena Martínez González, Rafael Olvera Plácido, Yandy Rodríguez Cueto, y Valentino Sorani

## **El presente trabajo reúne ambos objetivos, conocer los parámetros físicos del balance hídrico y exponer un caso particular de conflictos hidrosociales en una zona de México: la Comarca Lagunera**

**Dentro del ciclo socionatural del agua, diversos métodos de cuantificación del agua son requeridos, incluyendo los componentes hídricos naturales como su entorno social. Es decir, es necesario calcular, estimar y/o medir los diferentes parámetros de la denominada ecuación de balance hídrico y, en paralelo, contextualizar los procesos sociales ligados a la distribución, posesión y legalidad del agua en regiones específicas.**

El presente trabajo reúne ambos objetivos, conocer los parámetros físicos del balance hídrico y exponer un caso particular de conflictos hidrosociales en una zona de México: la Comarca Lagunera, que a pesar de la disponibilidad de agua existente en la región, una de las más altas comparada con otras regiones del norte del país, presenta un grave problema de desabasto de agua para uso doméstico-urbano, de contaminación debido a la sobreexplotación de cuatro acuíferos (el más importante de ellos, el Acuífero Principal) y de contaminación con arsénico (As) y flúor (F), condición crónica de más de medio siglo, donde el fenómeno de hidroarsenicismo ha provocado la afectación en la salud de miles de habitantes con diversos padecimientos, entre ellos cinco tipos de cáncer (Morán y García, 2016).

### **2. Acerca del balance hídrico y la cuantificación del consumo por los cultivos**

Realizar un balance hídrico consiste, expresado de manera sencilla, en determinar las entradas y salidas de agua de una región. De aquí la importancia de la medición de la lluvia, la evapotranspiración, el escurrimiento superficial, la infiltración somera y pro-

funda, el consumo de agua por la población y otros usos. En 2012, se introdujo una metodología para realizar el balance de agua por pixel (Bolongaro, 2012), que permite calcular los balances para cualquier polígono, cuenca, superficie o punto sobre la superficie. **En este trabajo se atenderá uno de los parámetros del balance: la evapotranspiración, parámetro relacionado fuertemente con el consumo de agua por los cultivos y los ecosistemas, que en regiones como la Comarca Lagunera conforman la parte más importante del balance local.**

La importancia social de conocer el consumo de agua por los cultivos y los ecosistemas consiste en contar con un método para cuantificar de manera objetiva los volúmenes de consumo de agua relacionados con la agricultura de temporal y de riego que se emplean como insumos en diversas actividades agroindustriales para, de esta manera, dotar a los actores sociales (comunidad, industria, organizaciones sociales, gobierno y academia) de información objetiva, accesible y gratuita de la estimación de estos parámetros, que contribuya a conocer los volúmenes y lugares de consumo de agua de la agricultura. Los demás parámetros de la ecuación de balance hídrico se tratarán en contribuciones posteriores.

### **3. La evapotranspiración**

**La evapotranspiración potencial (PET) es una estimación de la cantidad máxima de agua que podría evaporarse de la superficie terrestre por los efectos físicos de las condiciones climáticas:** temperatura, viento, radiación solar y tipo de sustrato (suelo,

**se muestra una metodología objetiva para  
estimar las variables de la evapotranspiración:  
PET y ET por medio de imágenes satelitales,  
determinando y analizando la respuesta  
espectral por la presencia de cultivos y cubiertas  
vegetales, cualquiera que sea su origen**

roca, etc.), independientemente de la disponibilidad de agua. **Proporciona una comprensión de la demanda de agua de un ecosistema y se utiliza en la gestión de recursos hídricos y la planificación agrícola.**

Por su parte, **la evapotranspiración real (ET) es entendida como la cantidad de agua que es transferida al aire desde la superficie terrestre, a través de la transpiración de las plantas y la evaporación del agua del suelo.** Es una parte importante del ciclo natural del agua en la Tierra y juega un papel crucial en el mantenimiento del equilibrio hídrico y climático en la superficie terrestre. **Mientras la PET tiene que ver más con la demanda de agua, como un indicador de la capacidad de un ecosistema (o cultivo) para evapotranspirar agua, la ET tiene que ver con el consumo real de agua de la vegetación de un sistema.**

Uno de los datos centrales acerca de dónde, cuándo y cuánta agua se consume realmente en un sitio es la existencia de cultivos en la superficie. La obvia relación entre el agua y los cultivos y los ecosistemas ofrece la oportunidad de calcular el volumen de agua por medio de la cuantificación de atributos superficiales como el estado de la vegetación, las condiciones de humedad, la calidad del follaje y otros atributos del proceso de desarrollo de un cultivo o de un ecosistema. En efecto, una superficie cultivada y regada de manera natural o artificial presentará superficialmente una cobertura vegetal, cuyas características en cada momento responderán a la disponibilidad y uso del agua. Durante la sequía, la vegetación

estará seca o ausente, mientras que en la temporada de lluvia o por riego, exhibirá el follaje característico. Cabe mencionar que cada tipo de cultivo y de ecosistema tiene curvas propias de absorción de agua en función de su fenología, ocasionando que los consumos de agua sean diferentes durante las etapas de germinación, desarrollo, floración, formación de fruto y terminación del ciclo agrícola, o sus equivalentes en los ecosistemas terrestres.

En este artículo se muestra una metodología objetiva para estimar las variables de la evapotranspiración: PET y ET por medio de imágenes satelitales, determinando y analizando la respuesta espectral por la presencia de cultivos y cubiertas vegetales, cualquiera que sea su origen. **La metodología no depende de los usuarios ni de los organismos que tienen como tarea medir el consumo de agua para la agricultura (i. e. CONAGUA), sino del escudriñamiento permanente de toda la superficie y la estimación de agua consumida por la vegetación a través de satélites.**

#### **4. Determinación del consumo de agua por la vegetación y los ecosistemas terrestres por métodos satelitales**

**La metodología satelital se basa en la relación estrecha entre el contenido de agua y el desarrollo de la vegetación, asociados a la formación de clorofila y al agua contenida en las hojas, ambas sustancias detectables y cuantificables con bastante exactitud por los satélites ópticos multiespectrales (Landsat, Sentinel,**

## **En la Comarca Lagunera se conocen conflictos sociales por el establecimiento de mercados de agua que derivaron en la concentración privada de los volúmenes disponibles que se destinan como insumos en los procesos de producción agrícola [...] en detrimento de los que se asignan para uso doméstico-urbano**

**MODIS, GeoEye, etc.).** Mediante el empleo de combinaciones de bandas de los satélites, conocidas como índices normalizados, se pueden identificar aquellas zonas donde la vegetación está más o menos desarrollada y donde dicha vegetación posee más o menos temperatura, lo que determina la evapotranspiración.

Una constelación de satélites permite hacer lo descrito anteriormente. El satélite MODIS, por ejemplo, a través de su producto MOD16, con una resolución espacial de 500 metros y una resolución temporal de 8 días, usa la lógica de la ecuación de Penman-Montheith (1965, 1980, también utilizada por la FAO en los estudios de sequía) para calcular las evapotranspiraciones potencial y real en todo el mundo. El producto emplea información de diferentes variables como radiación fotosintéticamente activa, déficit de presión de vapor, radiación neta, flujo de calor del suelo, así como humedad relativa para calcular la evapotranspiración según el tipo de cobertura y uso de suelo [3].

### **5. Presentación de resultados**

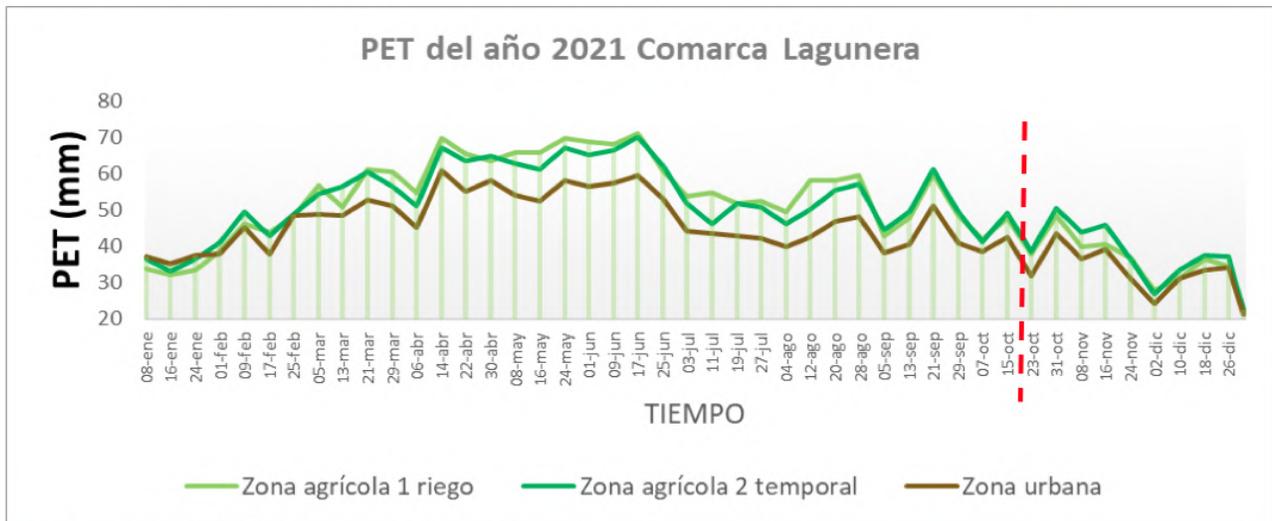
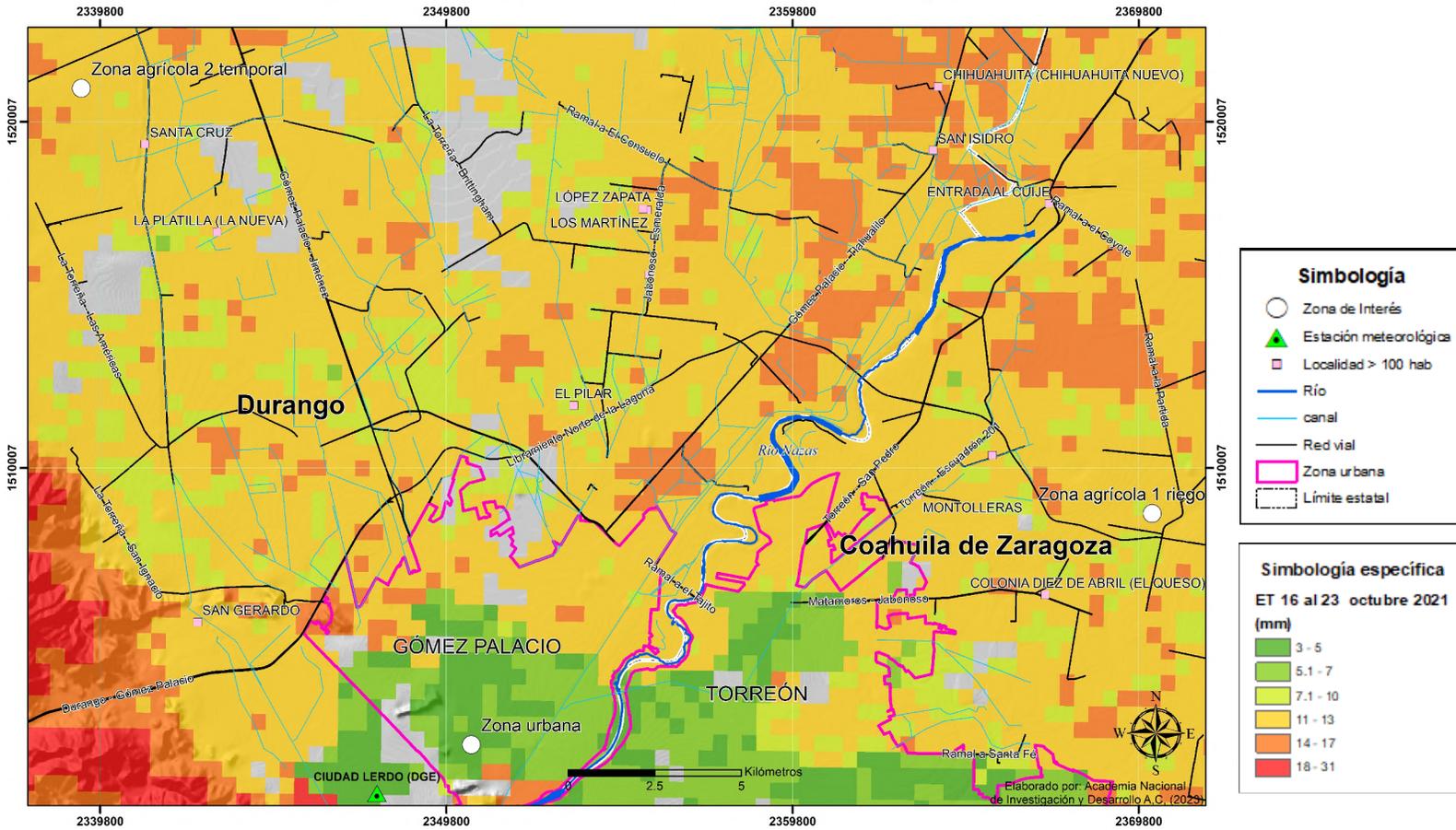
Como ejemplo de aplicación de la metodología de estimación de la evapotranspiración por métodos satelitales, se muestran resultados correspondientes a una medición de 8 días del periodo del 16 al 23 de octubre de 2021 (Figuras 1 y 2). En la práctica, por tratarse de satélites ópticos que pueden ser opacados por la presencia de nubes, se conforman compósitos de imágenes de al menos 8 días, con la expectativa de que todos los

pixeles tengan un valor espectral en tal periodo. Estos compósitos se han calculado para el periodo 2001 hasta la actualidad (febrero de 2023), de tal manera que puede analizarse un periodo de consumo de agua por la vegetación natural y los cultivos cada 8 días durante 22 años. La plataforma está en proceso de automatización.

En cuanto a la evapotranspiración potencial (Figura 1), obsérvese que, en el periodo de 8 días analizado, presentó valores de 26 a 46 mm. Recuérdese que PET es un valor potencial de agua máxima requerida por los ecosistemas. Nótese que los mayores valores PET se ubican en la zona suroeste de la imagen, correspondiente a una superficie del desierto chihuahuense con vegetación xerófila microfilohalina, de acuerdo con el mapa de ecosistemas de CONABIO (2008). **Toda la región se caracteriza por valores muy altos de evapotranspiración potencial anual entre 2,018 y 2,316 mm, común en este tipo de ecosistema. Para la semana ilustrada, la PET fue de 40.5 mm.**

Con respecto a la evapotranspiración real, la que está directamente relacionada con el consumo de agua por la vegetación (cultivos y ecosistemas), la ET presenta valores entre 3 y 31 mm (Figura 2). Se observa que los valores de ET son altos en las zonas de cultivo con riego, con valores mayores a 14 mm de consumo para el periodo de una semana. Estas zonas de alto consumo de agua son claramente observables en la figura, contrastando con valores bajos menores de 3 mm para la mayor parte del territorio.

### PET del período 16 al 23 de octubre del año 2021 Comarca Lagunera



Si bien estas características describen bastante bien las necesidades de agua (PET) y consumos cercanos a los reales (ET), también ofrecen información sobre la distribución geográfica de estos parámetros por medio de mapas de consumo de agua por entidades geográficas, polígonos, municipios, distritos de riego, subcuencas, etc. [4], mediante técnicas de análisis espacial ampliamente difundidas.

Figura 1. Estimación de la evapotranspiración potencial de agua (PET) en mm en la zona de la Comarca Lagunera (Durango-Coahuila, México), con el satélite MODIS. **Arriba:** procesado de imagen satelital durante el periodo del 16 al 23 de octubre de 2021; la resolución de cada pixel es de 500 m. **Abajo:** valores de PET para los puntos señalados en el mapa para todo el año 2021. La línea punteada señala la fecha de despliegue de los datos de la imagen de arriba. Aquellos sitios donde se presentaron nubes permanentes en el periodo de adquisición de la imagen se muestran en color gris. ANIDE, 2023.

ET del período 16 al 23 de octubre del año 2021 Comarca Lagunera

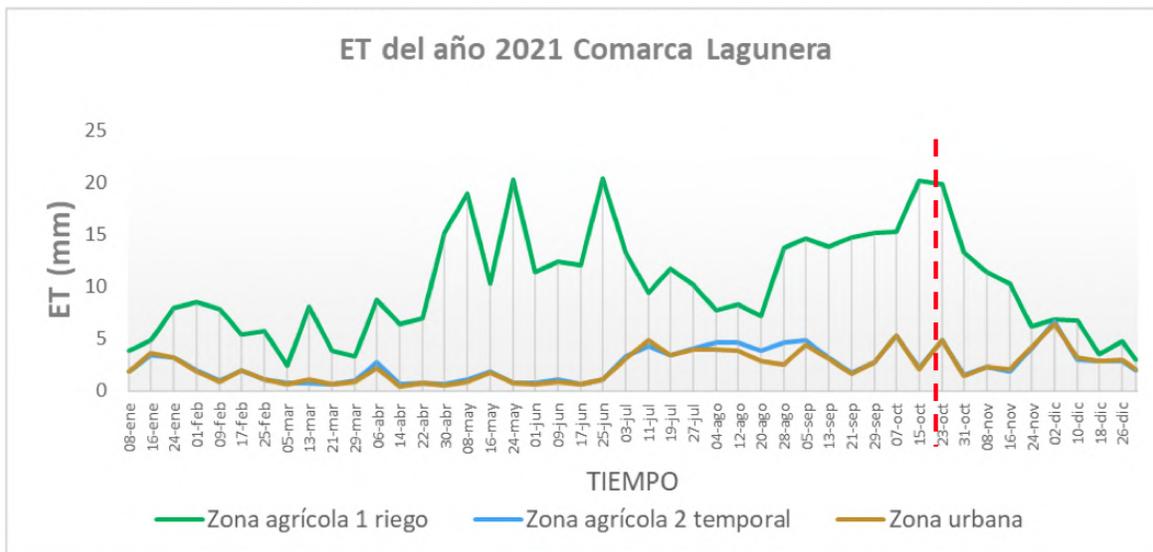
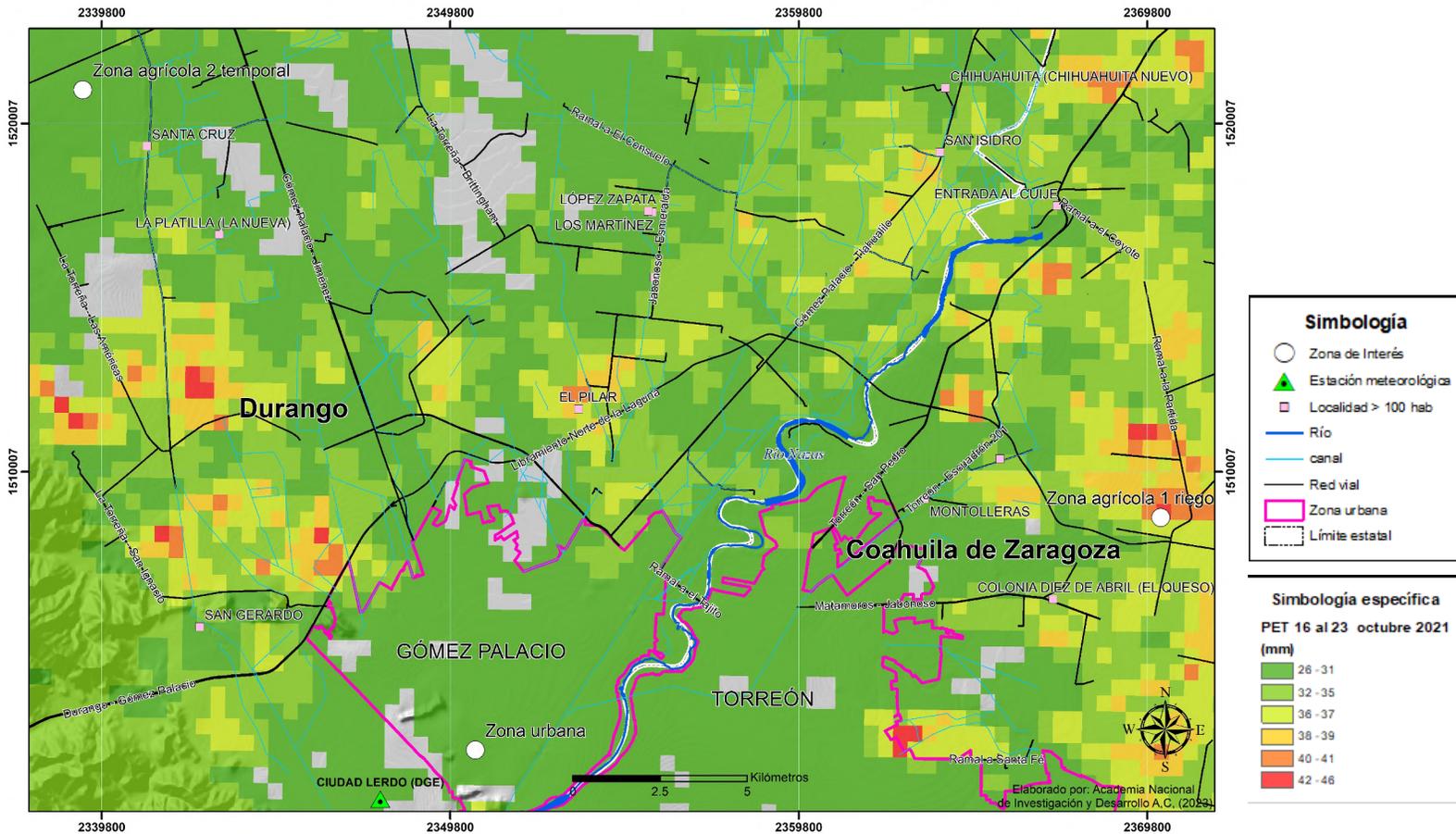


Figura 2. Estimación del consumo de agua por la vegetación (zonas agrícolas de temporal, riego y zona urbana) en la Comarca Lagunera (Durango-Coahuila, México), mediante la utilización del satélite MODIS. **Arriba:** procesado de imagen satelital durante el periodo del 16 al 23 de octubre de 2021; la resolución de cada pixel es de 500 m. **Abajo:** valores de ET (mm) para los puntos señalados en el mapa para todo el año 2021. La línea punteada señala la fecha de despliegue de los datos de la imagen de arriba. Aquellos sitios donde se presentaron nubes permanentes en el periodo de adquisición de la imagen se muestran en color gris. ANIDE, 2023.

## 6. Estimación del consumo de agua y conflictos hidrosociales: caso Comarca Lagunera

La región de la Comarca Lagunera se ha seleccionado como sitio piloto y de calibración. Localizada en los estados de Durango y Coahuila, México, es una región donde existe abundante información y se conocen conflictos sociales por el establecimiento de mercados de agua que derivaron en la concentración privada de los volúmenes dispo-

## La estimación del consumo de agua para los cultivos y ecosistemas puede realizarse objetivamente, sin la intervención de usuarios ni autoridades, utilizando los sistemas satelitales de observación de la Tierra, los cuales son disponibles y gratuitos

nibles que se destinan como insumos en los procesos de producción agrícola (la agricultura usa el 82% del agua subterránea y el 100% del agua superficial), en detrimento de los que se asignan para uso doméstico-urbano, lo que se traduce en una problemática de desabasto a la población, particularmente en los períodos en los que aumenta la temperatura y crece la demanda en las viviendas, situación que provoca tensión social. Un análisis muy sencillo de las figuras 1 y 2 muestra las superficies con los diversos valores de PET y ET, contrastando los consumos de agua de zonas de riego y zonas de temporal, si bien es obvio que los mayores consumos corresponden a las zonas de riego.

**En la tabla 1 se describen con los datos tres puntos: una zona agrícola con riego, una de temporal y una urbana. El consumo de agua en la zona de riego determinado satelitalmente muestra un valor de 465 mm en un año, contrastando con 114 mm de la zona de temporal, es decir, 4 veces mayor.** El consumo promedio de un ciclo de maíz es de 120 mm/año, lo que significa que en el área de estudio solo realizó un ciclo de cultivo y que la zona de riego consumió lo equivalente a cuatro. La precipitación total anual en la región es de 240 mm/año, lo que significa que en el área de temporal se dejó de utilizar cerca de 225 mm, que quedaron disponibles para incorporarse a aguas superficiales o aguas subterráneas.

Una de las problemáticas conocidas en la zona es el mercado de agua y el acaparamiento. Los mapas aquí obtenidos (serie de 2001 a 2023) permitirán hacer cálculos sencillos como el mostrado arriba, volviendo posible la ubicación del número de ciclos, los tipos de cultivos y los lugares donde ocurren cada uno de ellos.

Caso	PET (mm) Año 2021	ET (mm) Año 2021
Zona agrícola 1 riego	2312	465
Zona agrícola 2 temporal	2294	114
Zona urbana	2018	108

Tabla 1. Evapotranspiración potencial anual (PET) y Real (ET) de tres puntos ilustrativos de uso de agua en la Comarca Lagunera para una zona agrícola con riego, una agrícola de temporal y una urbana. ANIDE 2023.

### 7. Trabajo futuro

La etapa siguiente de este proyecto se realizará mejorando la resolución a 100 metros (una hectárea), que permitirá mejorar la precisión a escala de parcela. Cruzando esta información con los registros de concesiones del REPDA, también disponibles, sobre el mismo mapa, podrán observarse las discrepancias entre los volúmenes de agua

concesionados y los realmente utilizados. De este modo se conseguirá una mejor documentación del proceso de mercadeo, traspaso y acaparamiento de agua.

## 8. Conclusiones

La estimación del consumo de agua para los cultivos y ecosistemas puede realizarse objetivamente, sin la intervención de usuarios ni autoridades, utilizando los sistemas satelitales de observación de la Tierra, los cuales son disponibles y gratuitos. **Conocer los parámetros del ciclo natural del agua facilitará la documentación objetiva y accesible para los actores involucrados en conflictos hidrosociales, y contribuirá al conocimiento del ciclo socionatural del agua.**

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo de Raúl García Barrios y Octavio Rosas Landa Ramos por el impulso para la divulgación del proyecto y a Jorge Martínez Ruíz por el apoyo editorial.

## Referencias

Bolongaro Crevenna R. A. (2012). Variabilidad climática en el Estado de Morelos y su impacto en la disponibilidad de agua. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México.

CONABIO. (2008). Ecorregiones terrestres de México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) - Instituto Nacional de Ecología (INE).

Morán, Javier y García, Javier. (2016). Arsénico. Una perspectiva epidemiológica, ambiental y de salud. Ed. Fontamara y UA de C. México

Monteith, J. L. (1965). Evaporation and environment. Symposium of the society of experimental biology, 19: 205-224.

Monteith, J. L. (1980). Principles of environmental physics. Edward Arnold.

Mu, Qiaozhen, Zhao, Maosheng, and Running, Steven W. (2013)., MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) Collection 5. NASA Headquarters. Numerical Terradynamic Simulation Group Publications. 268. [https://scholarworks.umt.edu/ntsg\\_pubs/268](https://scholarworks.umt.edu/ntsg_pubs/268).

[1] Proyecto Disponibilidad de agua en México, balance multidimensional, No. 319013, CONACYT, Pronaces Agua. Correo de correspondencia: vicente.torres@anide.edu.mx

[2] Elaboración propia a partir de los volúmenes concesionados de aguas superficiales y subterráneas del REPDA, junio de 2022.

[3] Mu, Qiaozhen, Zhao, Maosheng, and Running, Steven W. (2013)., MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) Collection 5. NASA Headquarters. Numerical Terradynamic Simulation Group Publications. 268. [https://scholarworks.umt.edu/ntsg\\_pubs/268](https://scholarworks.umt.edu/ntsg_pubs/268)

[4] Los datos estarán disponibles en la plataforma informática de CONACYT a partir de marzo de 2023.