



Sexto
Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMIIR- 2021 / Hermosillo, Sonora



Artículo: COMIIR-21021

Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA

Augusto Omar Villa Camacho^{1*}; **Ronald Ernesto Ontiveros Capurata**²; **Alberto González Sánchez**³; **Laura Maleni Ordoñez Hernández**¹

¹Facultad de Ingeniería Agrohídrica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. Universidad s/n, Ciudad San Juan Acateno. 73965 Teziutlán, Puebla, México.

omarvilla.bw@gmail.com - (231) 1321126 (*Autor de correspondencia)

²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532. 62550. Jiutepec, Morelos, México.

³Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Riego y Drenaje. Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532. 62550. Jiutepec, Morelos, México.

Resumen

La productividad es un elemento clave en el planeamiento estratégico de los recursos hídricos a largo plazo. El manejo del agua basado en parámetros de productividad puede mejorar su aplicación y contribuir a un ahorro en aquellos sistemas donde se consume cantidades excesivas de agua, siendo una relación entre la unidad de resultado y la unidad del recurso. En este sentido, este trabajo tuvo como objetivo determinar la productividad del agua de riego en el estado de Chihuahua, para los principales cultivos de interés para los ciclos primavera-verano (P-V) y otoño-invierno (O-I), utilizando valores de evapotranspiración de referencia mediante el método Hargreaves. En el trabajo realizado, se observa que el cultivo con mayor productividad del agua de riego para el ciclo (P-V) es maíz forrajero oscilando en un rango de 2.03 a 5.98 kg/m³, el municipio de Camargo presento el valor máximo con 5.98 kg/m³. Mientras que en el ciclo (O-I) es el cultivo de avena forrajera con un rango de 5.17 a 10.13 kg/m³, el valor máximo se encuentra en el municipio de Rosales con 10.13 kg/m³. Se estima que este tipo de prácticas permite contar con información para comprobar la eficiencia del uso del agua en los sistemas agrícolas, y proporciona una visión sólida para la determinación de las oportunidades de la redistribución correcta del agua.

Palabras claves: agricultura de riego, recurso hídrico, eficiencia del agua



Introducción

La productividad es un elemento clave en el planeamiento estratégico de los recursos hídricos a largo plazo (Zwart y Bastiaassen, 2004). El manejo del agua basado en parámetros de productividad puede mejorar su uso y contribuir a su ahorro en aquellos sistemas donde se consume cantidades excesivas de agua.

No existe una definición única de productividad y el valor considerado en el numerador podría depender del enfoque, así como de la disponibilidad de datos (González et al., 2015), sin embargo, el concepto de productividad es la relación entre la unidad de resultado y la unidad de insumo. En este caso el término productividad del agua es usado exclusivamente para denotar la cantidad o el valor del producto sobre el volumen o valor del agua consumida o desviada (González et al., 2015), el término producción se puede expresar en términos de peso de producto final, biomasa, dinero entre otros, y la cantidad de agua utilizada en valores de evapotranspiración, agua total entregada para la producción, agua recibida como riego más lluvia, por citar algunos ejemplos (Molden et al., 2003; Pereira, 2012).

El grado de importancia del agua para la producción agrícola, así como su capacidad para alimentar a sus poblaciones, lleva a la necesidad de estudiar el problema de la productividad del agua. En la actualidad, la agricultura de riego consume la mayor parte del suministro de agua de buena calidad con el 75.7% del volumen concesionado para uso consuntivo (González et al., 2010).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la productividad del agua de riego en el estado de Chihuahua, para los principales cultivos de interés para los ciclos primavera-verano (P-V) y otoño-invierno (O-I) utilizando valores de evapotranspiración de referencia mediante el método Hargreaves. Esto permitirá contar con información para comprobar la eficiencia del uso del agua en los sistemas agrícolas, y para proporcionar una visión sólida para la determinación de las oportunidades de la redistribución correcta del agua.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estado de Chihuahua se localiza en la región norte-centro de México entre los 31° 47' 04" y 25° 33' 32" de latitud norte y 103° 18' 24" y 109° 04' 30" de longitud oeste (Figura 1). Chihuahua representa el 12.6% del territorio nacional y colinda al noreste con Estados Unidos de América (EE.UU.), al este con los estados de Coahuila de Zaragoza y Durango, al sur con Durango y Sinaloa; y al oeste con Sonora y Sinaloa. El territorio posee cuatro tipos de clima: muy seco (40%), seco y semiseco (33%), templado-subhúmedo (24%) y cálido-subhúmedo (3%). La temperatura media anual es de 17 °C y la precipitación promedio anual es de alrededor de 500 mm (INEGI, 2020).

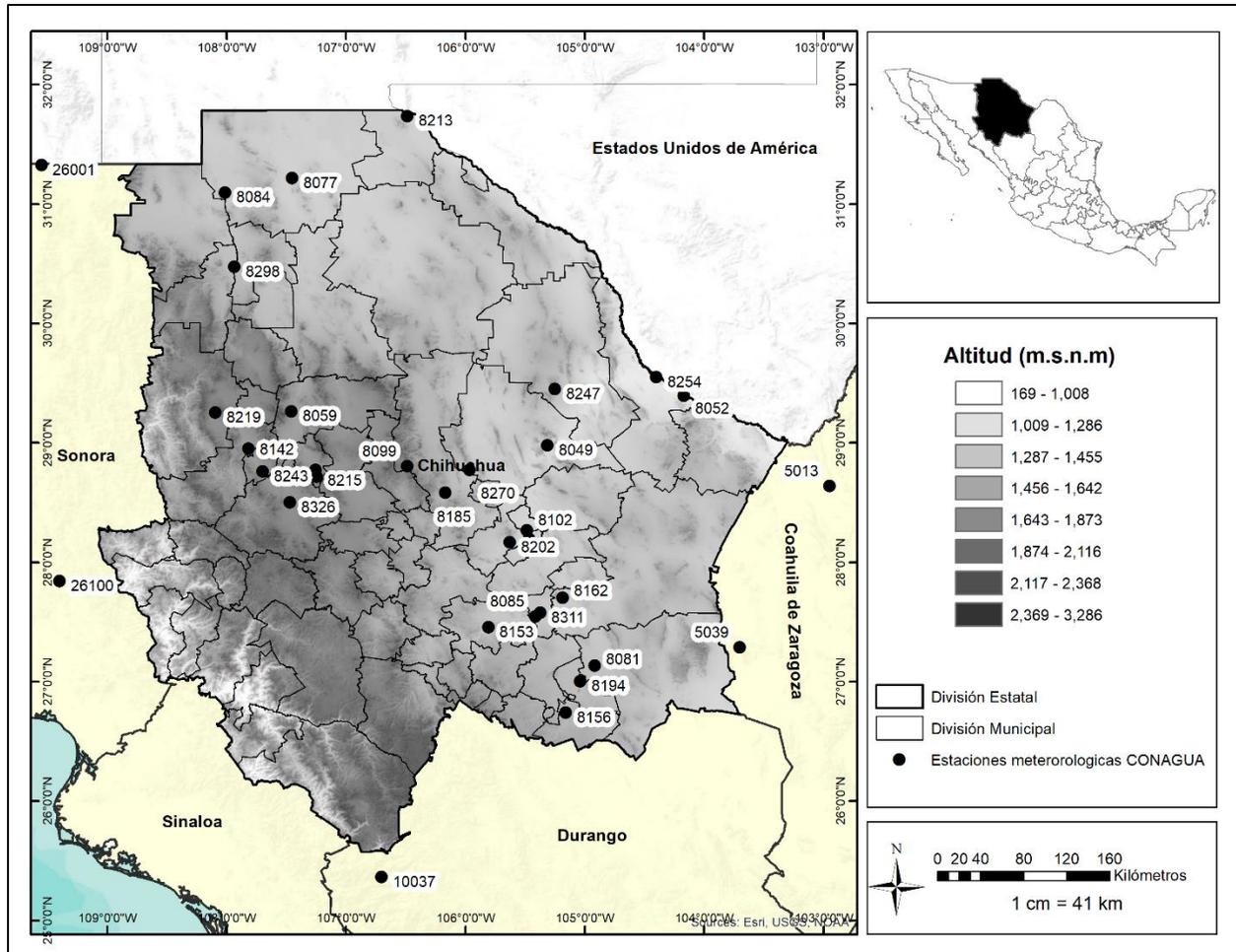


Figura 1. Área de estudio.

Fuente de datos

Se recopiló información a nivel municipal para los cultivos de mayor importancia en el estado de Chihuahua proveniente del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesca (SIAP) del periodo (2017-2018), para los ciclos agrícolas otoño-invierno (O-I) y primavera-verano (P-V). Las fechas de siembra y cosecha se obtuvieron de la biblioteca digital (INIFAP, 2017), en la sección de “agendas tecnológicas” para los principales cultivos de importancia en O-I y P-V. Las observaciones diarias de temperatura y precipitación se obtuvieron de 33 estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2019) para el periodo 1960-2013 (Figura 1). Adicionalmente se determinó radiación extraterrestre (R_a) mediante la ecuación descrita por Allen *et al.* (1998). Las observaciones faltantes de las bases de datos se estimaron con el método de interpolación del Inverso de la Distancia Ponderada (*Inverse Distance Weighted, IDW*), según la ecuación 1 (Shepard, 1968):

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{d_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i} \right)} \quad (1)$$



Donde: Z_p = valor estimado para el punto, n = número de puntos utilizados en la interpolación, Z_i = observación meteorológica conocida, d_i = distancia entre estaciones (m), p = potencia que está en función del grado de ondulación del terreno: 1 para plano y 2 para abrupto. La calidad de datos fue verificada mediante el paquete CLIMATOL, desarrollado para el software R.

Método empírico para el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o)

El método empírico utilizado en el cálculo de ET_o fue el de Hargreaves (Hg), el cual se seleccionó en función de la disponibilidad de información meteorológica en la zona de estudio. En la ecuación 1 se presenta el modelo empleado por Hargreaves (1985).

$$ET_o = 0.023(0.408) (T_m+17.8)(T_{mx} - T_{mn})^{0.5} R_a \quad (1)$$

Donde: T_{mn} = temperatura mínima ($^{\circ}C$); T_{mx} = temperatura máxima ($^{\circ}C$); T_m = temperatura media ($^{\circ}C$) y R_a = radiación extraterrestre [$mm \cdot día^{-1}$].

Coefficiente de cultivo (K_c)

Los valores de K_c utilizados en este estudio se obtuvieron de los valores tabulados de K_c del manual de FAO 56 (Allen et al., 1998) los cuales vienen desglosados por las 3 etapas fenológicas y los días correspondientes para cada etapa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores tabulados de K_c .

| Cultivo | K_c de cultivo | | | Días | | | |
|-------------|------------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | inicial | media | final | inicial | media | final | Total |
| Algodón | 0.35 | 1.2 | 0.6 | 30 | 110 | 55 | 195 |
| Avena | 0.3 | 1.15 | 0.25 | 20 | 110 | 30 | 160 |
| Cebolla | 0.7 | 1 | 0.75 | 20 | 65 | 10 | 95 |
| Chile verde | 0.6 | 1.05 | 0.9 | 20 | 80 | 25 | 125 |
| Maíz | 0.7 | 1.2 | 0.6 | 30 | 90 | 30 | 150 |

Estimación de evapotranspiración de cultivo (ET_c)

Una vez obtenidos los valores mensuales de ET_o para la superficie de Chihuahua, se prosiguió a la estimación de (ET_c) en base a los K_c de los cultivos de mayor importancia, esto mediante la ecuación 2 (Allen et al., 1998):

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (2)$$

Donde ET_c = Evapotranspiración de cultivo (m), ET_o = Evapotranspiración de referencia (m), K_c = Coeficiente de cultivo (adimensional).



Volúmenes de riego demandada

Para la determinación de volúmenes de riego demandada por municipio se agrupo la información de la superficie sembrada y los valores de ET_C correspondientes. Se implementó la siguiente ecuación (Allen et al., 1998):

$$V = ET_C * \text{Área} \quad (3)$$

Donde: V = Volumen del agua demanda (m^3), ET_C = Evapotranspiración del cultivo (m), Área = Superficie del cultivo (m^2).

Productividad del agua de riego

La productividad para el agua de riego se estimó mediante la siguiente ecuación (González et al, 2020):

$$WP \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{P (Kg/Ha)}{V (m^3/Ha)} \quad (4)$$

Donde: WP = Productividad del agua de riego aplicada (kg/m^3), P = Producción agrícola de los cultivos (kg/ha), V = Volumen del agua demandada (m^3/ha).

Resultados y Discusión

Evapotranspiración de referencia (Hargreaves)

Los valores de ET_0 son variados a lo largo del año (Figura 2). En el mes de enero se presentan los valores menores de ET_0 en un rango de $1.7 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ a $2.8 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$, con un promedio de $2.24 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$, mientras que los mayores valores se encuentran en el mes de junio con un rango de $6.2 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ a $8.1 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ y un promedio de $7.23 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$. Los valores de ET_0 ascienden de enero a junio y descienden de julio a diciembre, esto último por consecuencia del cambio de temperaturas y radiación que se presentan en dichos meses. Así mismo, Sun *et al.* (2020) que indican que la ET_0 se incrementa gradualmente con el incremento de la elevación (decrece la temperatura) hasta una altura umbral y luego decrece (en esta región la altura umbral se alcanza a los 1900 msnm aproximadamente).

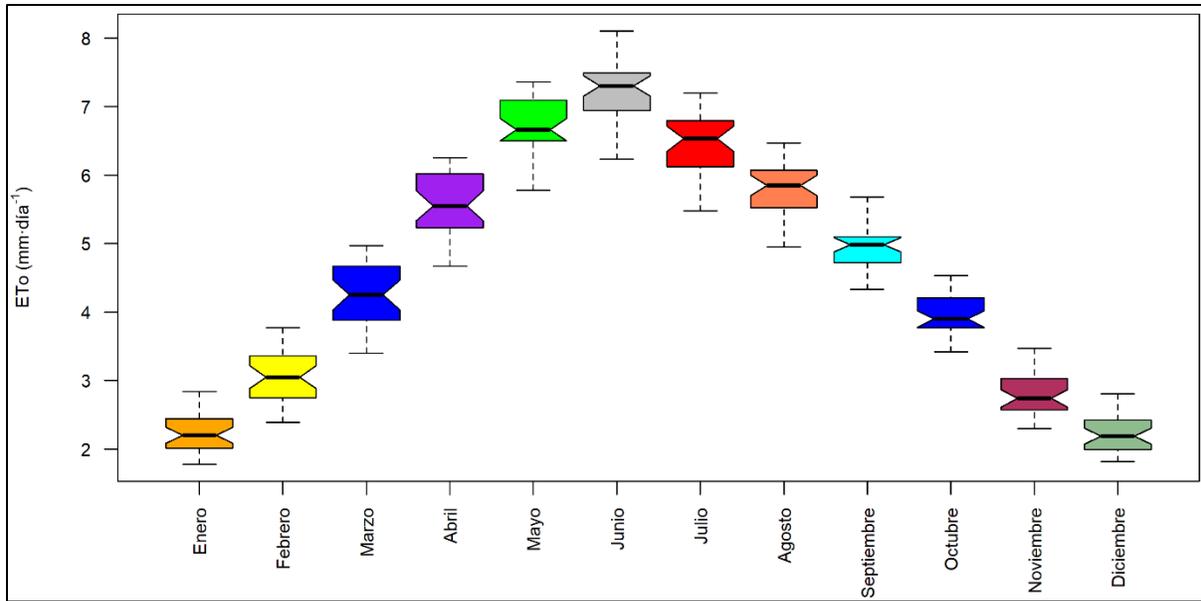


Figura 2. Valores mensuales de ET_0 $mm \cdot día^{-1}$.

Volúmenes de riego (Primavera – Verano)

El análisis de volúmenes de riego para los principales cultivos de interés para P-V (Figura 3). El principal cultivo es algodón con un volumen total de 3,442 millones de m^3 , seguido por el cultivo de maíz grano tiene un volumen total de 2,330 millones de m^3 , el tercer cultivo es chile verde con 348 millones de m^3 y, por último, el cultivo de maíz forrajero presenta un volumen total de 187 millones de m^3 . Los valores máximos se presentaron en el mes de junio con 834, 644 y 51 millones de m^3 para el caso de algodón, maíz grano y maíz forrajero respectivamente, mientras que en mayo para el cultivo de chile verde con una máxima de 98 millones de m^3 .

El municipio de Ahumada presenta el mayor volumen para el cultivo de algodón con 742 millones de m^3 , con un valor máximo en el mes de junio de 180 millones de m^3 y un valor mínimo de 35 millones de m^3 en el mes de noviembre. Mientras que en el municipio de Cuauhtémoc tiene el mayor volumen para el cultivo de maíz grano con 747 millones de m^3 con un valor máximo de 203 millones de m^3 en el mes de junio y un valor mínimo de 82 millones de m^3 en el mes de agosto. El municipio con mayor volumen en el caso de chile verde es Ascensión con 83 millones de m^3 , con un valor máximo en el mes de mayo de 23.6 millones de m^3 y una mínima en marzo con 6.9 millones de m^3 . Por último, para el cultivo de maíz forrajero, el municipio Delicias con una máxima de 16.6 millones de m^3 y una mínima de 6.6 millones de m^3 para los meses de junio y agosto respectivamente.

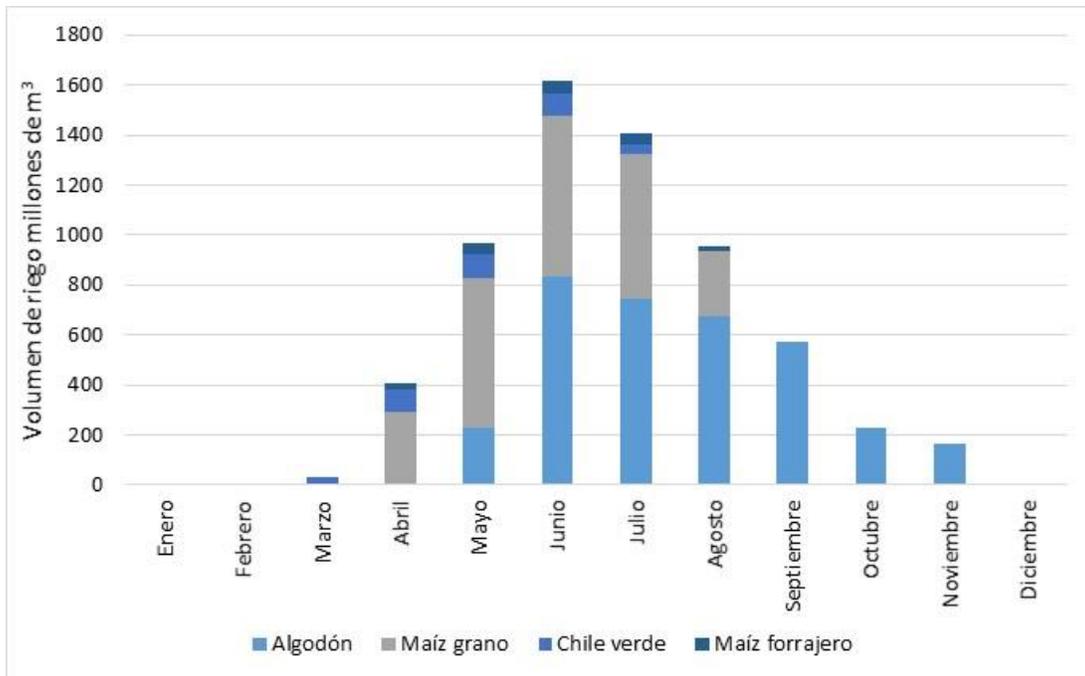


Figura 3. Volúmenes de riego para los principales 4 cultivos, ciclo (primavera-verano).

Volúmenes de riego (Otoño – Invierno)

El análisis de volúmenes de riego para los principales cultivos de interés para el ciclo O-I (Figura 4). El principal cultivo es avena forrajera con un volumen total de 5.2 millones de m^3 , el valor máximo se presenta en el mes de octubre con 1.75 millones de m^3 . Seguido por el cultivo de cebolla que tiene un volumen total de 49 millones de m^3 , con un valor máximo de 8.1 millones de m^3 en el mes de abril.

El municipio de Chihuahua presenta el mayor volumen para el cultivo de avena forrajera con 1.6 millones de m^3 , con un valor máximo en el mes de octubre de 0.64 millones de m^3 y un valor mínimo de 0.10 millones de m^3 en el mes de septiembre. Mientras que para el cultivo de cebolla el municipio de Janos tiene el mayor volumen con 8.3 millones de m^3 con un valor máximo de 1.39 millones de m^3 en el mes de abril y un valor mínimo de 0.73 millones de m^3 en el mes de diciembre.

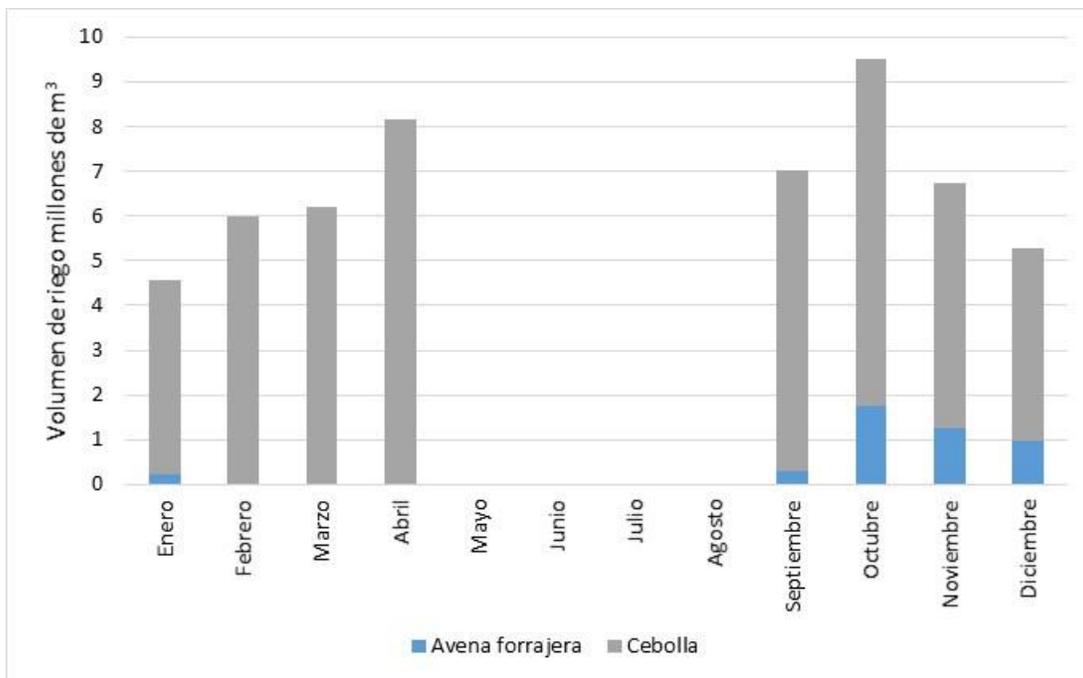


Figura 4. Volúmenes de riego para los principales 2 cultivos, ciclo (otoño-invierno).

Productividad del agua de riego (Primavera – Verano)

El valor de la productividad del agua de riego para el cultivo de algodón (Figura 5), oscila en un rango de 0.334 a 0.466 kg/m³. Los municipios con menor productividad son Allende, Guadalupe, Jiménez, Juárez, y Praxedis G. Guerrero, con un rango de 0.334 a 0.38 kg/m³. El valor mínimo lo ocupa el municipio de Guadalupe con 0.334 kg/m³, mientras que los municipios con mayor productividad son Buenaventura, Camargo, Coyame del Sotol, Janos y Ojinaga, con un rango de 0.447 a 0.466 kg/m³. El valor máximo se encuentra en el municipio de Ojinaga con 0.466 kg/m³. El valor promedio de productividad del agua de riego en algodón de es 0.41 kg/m³. Se observa que en la zona norte del estado se ubican los valores de productividad más bajos, mientras que en la zona este los más altos.

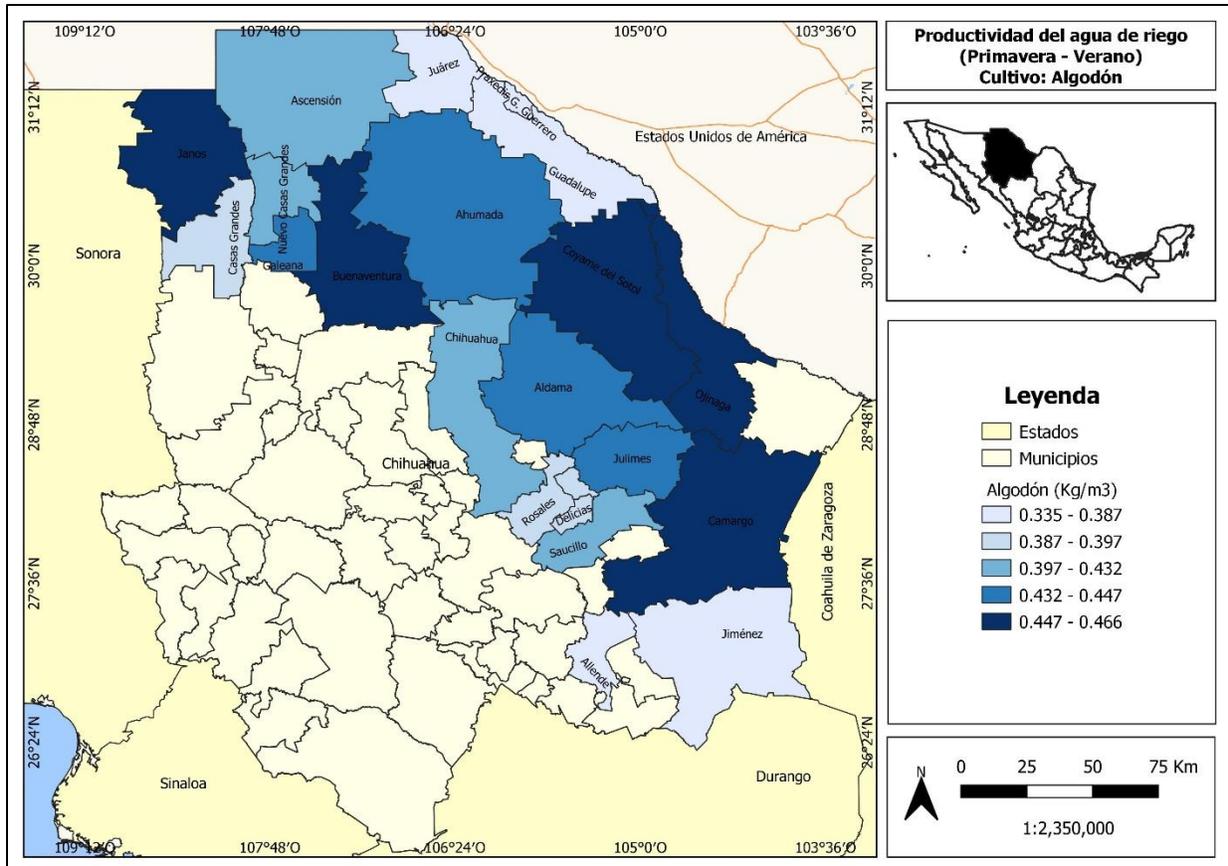


Figura 5. Productividad del agua de riego a nivel municipal para el estado de Chihuahua (Algodón).

El valor de la productividad del agua de riego para el cultivo de maíz grano oscila en un rango de 0.31 a 1.21 kg/m³ (Figura 6). Los municipios con menor productividad son: Belleza, Coronado, Hidalgo de Parral, Huejotitán, Rosario y Valle de Zaragoza, con un rango de 0.31 a 0.44 kg/m³. El valor mínimo lo ocupa el municipio de Valle de Zaragoza con 0.30 kg/m³, mientras que los municipios con mayor productividad son Aldama, Cuauhtémoc, Cusihiuriachi, Chihuahua, Nimiquipa y Riva Palacios, con un rango de 1.09 a 1.21 kg/m³. El valor máximo se encuentra en el municipio de Aldama con 1.21 kg/m³. El valor promedio de productividad de riego es de 0.84 kg/m³. En la zona sur del estado se ubican los valores más bajos de productividad del agua de riego, mientras que en la zona centro los más altos.

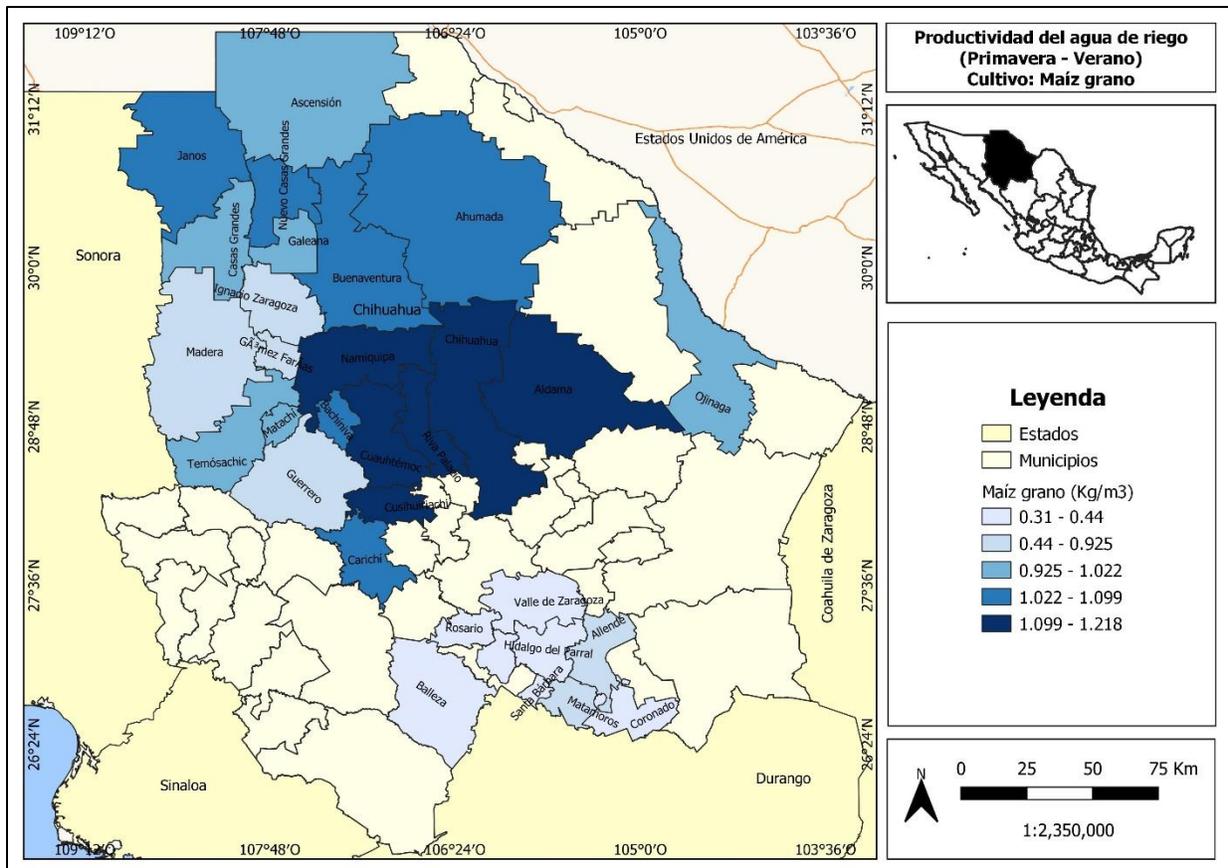


Figura 6. Productividad del agua de riego a nivel municipal para el estado de Chihuahua (Maíz grano).

El valor de la productividad del agua de riego para el cultivo de chile verde (Figura 7), oscila en un rango de 1.28 a 5.32 kg/m³. Los municipios con menor productividad son: Balleza, Casas Grandes, Janos, Namiquipa, Nuevo Casas Grandes y Ojinaga, con un rango de 1.28 a 2.97 kg/m³. El valor mínimo lo ocupa el municipio de Namiquipa con 1.28 kg/m³, mientras que los municipios con mayor productividad del agua de riego son Delicias, Camargo, Jiménez, López, Saucillo y San Francisco de Conchos con un rango de 5.03 a 5.32 kg/m³. El valor máximo se encuentra en el municipio de Camargo con 5.31 kg/m³. El valor promedio de productividad de riego es de 3.8 kg/m³. En la zona sur del estado se ubican los valores más bajos de productividad del agua de riego, mientras que en la zona noreste los más altos.

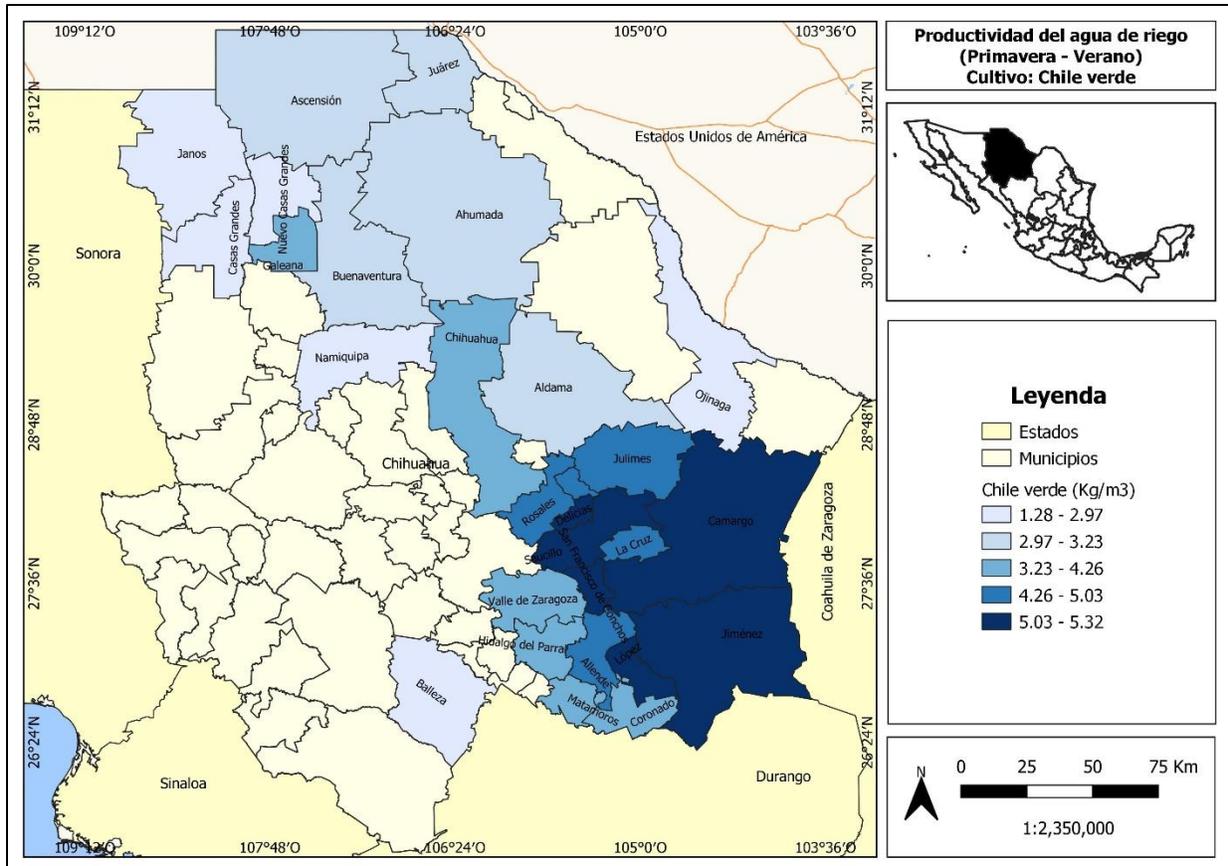


Figura 7. Productividad del agua de riego a nivel municipal para el estado de Chihuahua (Chile verde).

El valor de la productividad del agua de riego para el cultivo de maíz forrajero oscila en un rango de 2.03 a 5.98 kg/m³ (Figura 8). Los municipios con menor productividad son; Balleza, El Tule, Hidalgo del Parral, Huejotitán, Namiquipa y Rosario con un rango de 2.03 a 2.96 kg/m³. El valor mínimo lo ocupa el municipio de Balleza con 2.03 kg/m³, mientras que los municipios con mayor productividad del agua de riego son Allende, Camargo, Jiménez, López, Rosales y San Francisco de Conchos, con un rango de 4.47 a 5.98 kg/m³. El valor máximo se encuentra en el municipio de Camargo con 5.98 kg/m³. El valor promedio de productividad de riego es de 3.83 kg/m³. En la zona sur y centro del estado se ubican los valores más bajos de productividad del agua de riego, mientras que en la zona sureste los más altos.

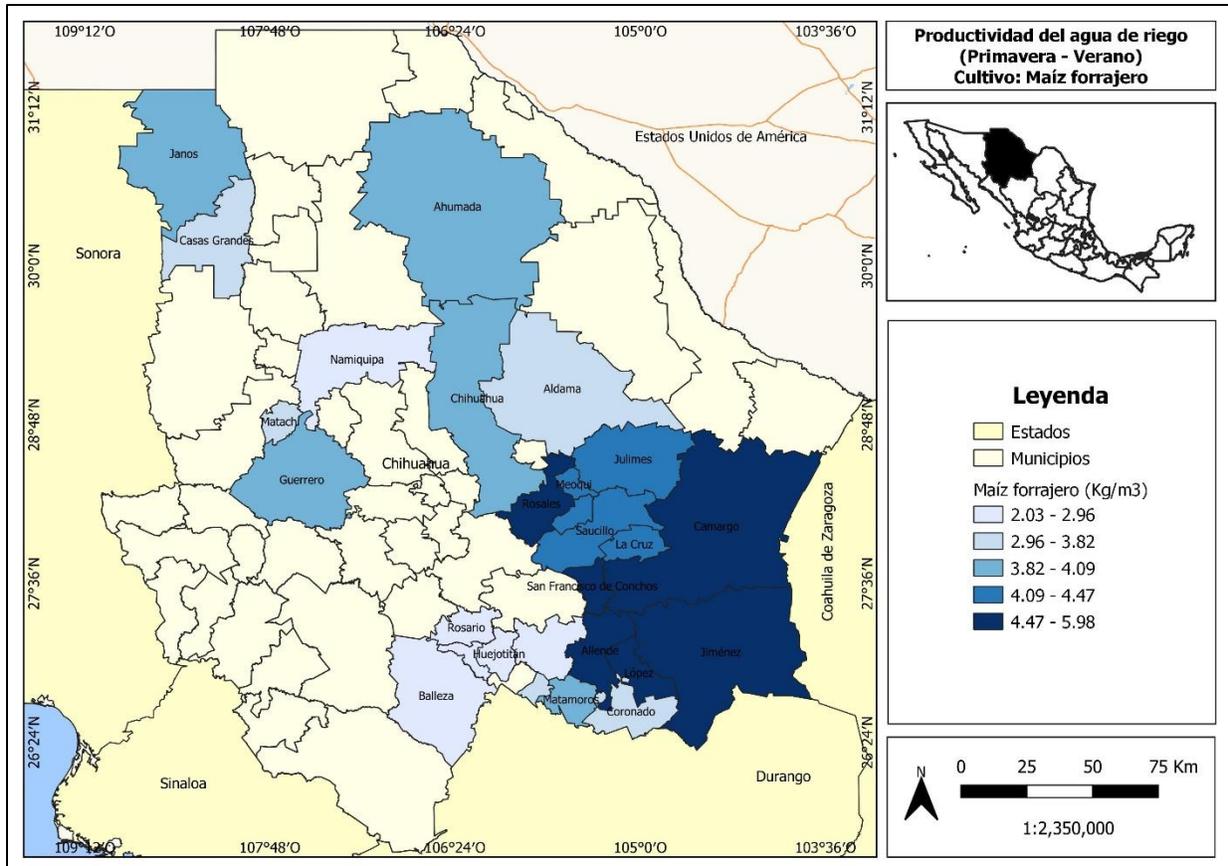


Figura 8. Productividad del agua de riego a nivel municipal para el estado de Chihuahua (Maíz forrajero).

Productividad del agua de riego (Otoño – Invierno)

El valor de la productividad del agua de riego para el cultivo de avena forrajera (Figura 9), oscila en un rango de 5.17 a 10.13 kg/m³. Los municipios con menor productividad son Allende, Chihuahua y Namiquipa con un rango de 5.17 a 5.78 kg/m³. El valor mínimo lo ocupa el municipio de Namiquipa con 5.17 kg/m³, mientras que los municipios con mayor productividad del agua de riego son Delicias, Meoqui y Rosales con un rango de 9.36 a 10.13 kg/m³. El valor máximo se encuentra en el municipio de Rosales con 10.13 kg/m³. El valor promedio de productividad de riego es de 7.65 kg/m³. Los valores máximos y mínimos de la productividad del agua se concentran en la zona centro.

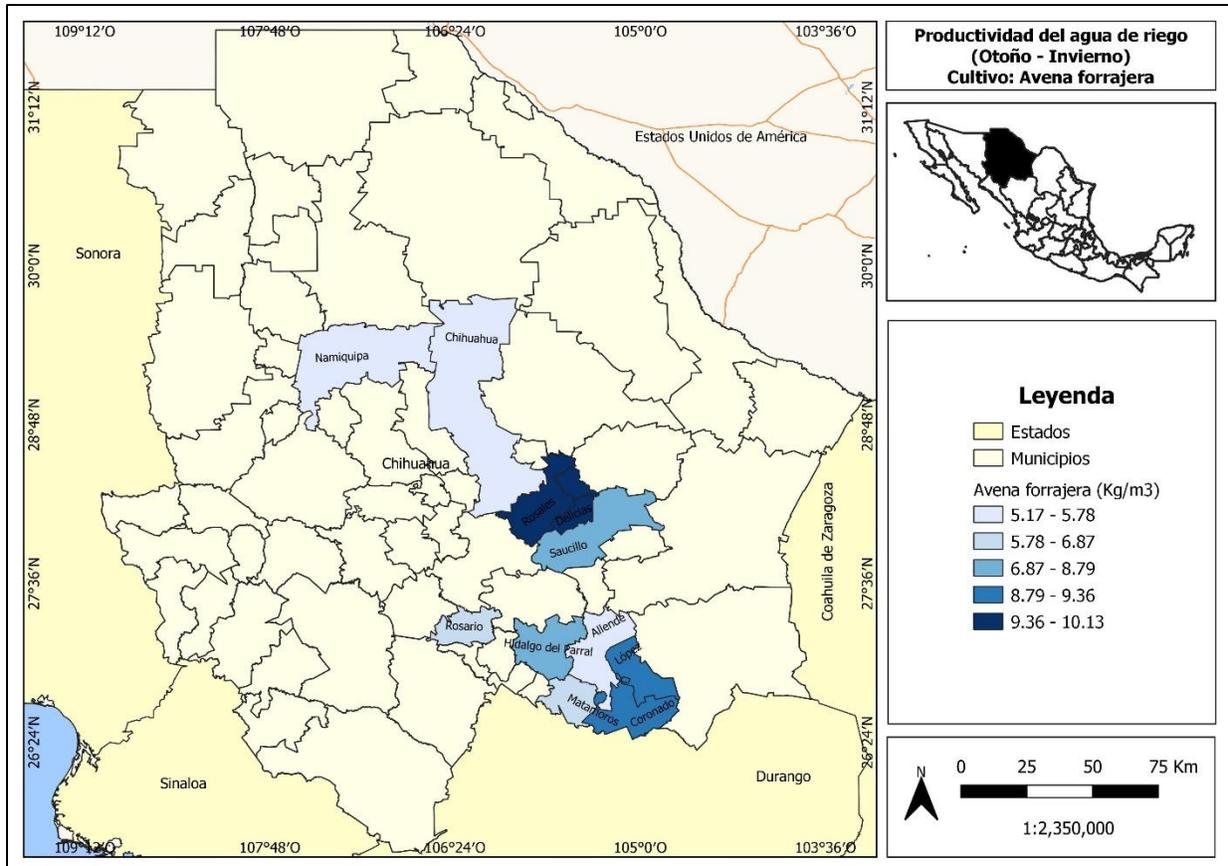


Figura 9. Productividad del agua de riego a nivel municipal para el estado de Chihuahua (Avena forrajera).

El valor de la productividad del agua de riego para el cultivo de cebolla oscila en un rango de 4.25 a 9.31 kg/m³ (Figura 10). Los municipios con menor productividad son Allende, Buenaventura, Hidalgo de Parral, Matamoros y Valle de Zaragoza, con un rango de 4.25 a 4.9 kg/m³. El valor mínimo lo ocupa el municipio de Valle de Zaragoza con 4.25 kg/m³, mientras que los municipios con mayor productividad del agua de riego son Camargo, Coronado, Delicias y Jiménez con un rango de 8.83 a 9.31 kg/m³. El valor máximo se encuentra en el municipio de Camargo con 9.31 kg/m³. El valor promedio de productividad de riego es de 6.83 kg/m³. En la zona sur del estado se ubican los valores más bajos de productividad del agua de riego, mientras que en la zona sureste los valores más altos.

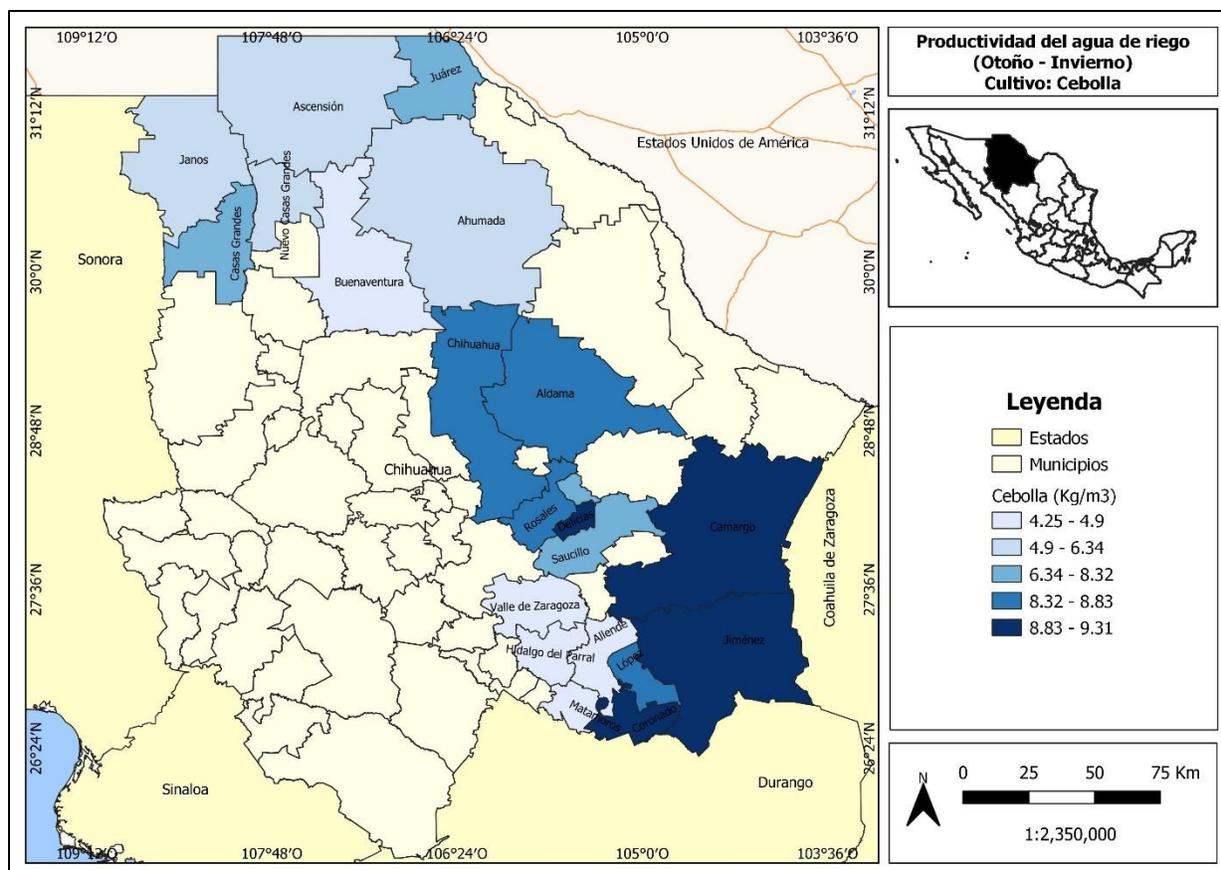


Figura 10. Productividad del agua de riego a nivel municipal para el estado de Chihuahua (Cebolla).

Estudios realizados por Kijne *et al.* (2003), mencionan que la productividad del agua de riego referida a la evapotranspiración para el cultivo de maíz está entre 1.2 y 2.3 kg/m³; González *et al.* (2010) obtuvo valores de 0.93 a 2.53 en maíz y 4.4 a 5.58 en el cultivo de cebolla. Valores reportados por el boletín de FAO 33 (Doorenbos y Kassam, 1986), menciona valores de maíz de 0.8 a 1.6 kg/m³, cebolla de 8 a 10 kg/m³, Servín *et al.* (2018) obtuvo valores de 0.5 a 2.5 kg/m³ en avena forrajera.

En el cuadro 2, se presenta un resumen de los valores de productividad del agua de riego. El cultivo de avena forrajera presentó la mayor productividad del agua de riego con un valor máximo de 10.12, mínimo de 5.167 y promedio de 7.65 kg/m³.

Cuadro 2. Valores de productividad del agua de riego

| Ciclo/cultivo | Máximo (kg/m ³) | Mínimo (kg/m ³) | Promedio (kg/m ³) |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Primavera – verano | | | |
| Algodón | 0.466 | 0.334 | 0.410 |
| Maíz grano | 1.217 | 0.309 | 0.842 |
| Chile verde | 5.317 | 1.282 | 3.808 |
| Maíz forrajero | 5.984 | 2.032 | 3.833 |
| Otoño - invierno | | | |
| Avena forrajera | 10.127 | 5.167 | 7.651 |



| | | | |
|---------|-------|-------|-------|
| Cebolla | 9.308 | 4.253 | 6.836 |
|---------|-------|-------|-------|

Conclusiones

El uso de la evapotranspiración en el cálculo de la productividad agronómica del agua para el estado de Chihuahua permitirá un análisis más objetivo del uso eficiente del agua para los cultivos estudiados. Los resultados enfatizan en la importancia de la época óptima de desarrollo del cultivo sobre la demanda de agua y el rendimiento que presenta los municipios. Se observa que la demanda de agua de los cultivos varió en dependencia de la longitud del ciclo, el tipo de cultivo, ubicación y la época de siembra.

El cultivo con mayor productividad del agua de riego para el ciclo P-V es maíz forrajero, presentando una producción total de 789.1 millones de kg. Así mismo, el volumen total fue el menor con tan solo 187.5 millones de m³, mientras que en el ciclo O-I fue el cultivo de avena forrajera con una producción de 27.5 millones de kg y con un volumen total de 4.48 millones de m³.

Para elevar la productividad del agua en la región se recomiendan las siguientes acciones: incrementar los rendimientos de los cultivos por unidad de agua, optimizando el recurso hídrico al reducir las pérdidas (en drenaje, filtrado y percolación) considerando también las pérdidas por evapotranspiración. Dichas acciones toman en cuenta que la producción agrícola es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria nacional.

Referencias Bibliográficas

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), S. M. N. (SMN). (2019, September). Información Estadística Climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Yield response to water. *Irrigation and drainage paper*, (33), 257.
- González Robaina, F., Herrera Puebla, J., & López Seijas, T. (2010). Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1), 95-97.
- González Robaina, F., López Seijas, T., & Herrera Puebla, J. (2015). Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4), 57-63.



- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1(2), 96-99.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Chihuahua. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825292959>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2017). AGENDA TECNICA AGRICOLA. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?%2f%2f=AT
- Kijne, J. W., Barker, R., & Molden, D. J. (Eds.). (2003). *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement* (Vol. 1). Cabi.
- Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., & Makin, I. (2003). A water-productivity framework for understanding and action. *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*, 1-18.
- Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural water management*, 108, 39-51.
- Servin Palestina, M., Sánchez Gutiérrez, R. A., Ramírez Valle, O., Galindo Reyes, M. A., & Gutiérrez Bañuelos, H. (2018). Modelos para programación y optimización de agua de riego en avena forrajera. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(4), 667-684.
- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference*, ACM 1968, 517–524. <https://doi.org/10.1145/800186.810616>
- SIAP, Servicio de Información y Estadística agroalimentaria y pesquera, (2018): Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Sun, J., Wang, G., Sun, X., Lin, S., Hu, Z., & Huang, K. (2020). Elevation-dependent changes in reference evapotranspiration due to climate change. *Hydrological Processes*, 34(26), 5580–5594. <https://doi.org/10.1002/hyp.13978>
- Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural water management*, 69(2), 115-133.