

## Impacto de tres regímenes de riego sobre el rendimiento de grano de trigo en el sur de Sonora, México

## Impact of three irrigation regimes on wheat grain yield in southern Sonora, Mexico

Marroquín Morales, J. A.<sup>1</sup> , Lugo García, G. A.<sup>1</sup> , Gayosso Barragán, O.<sup>2</sup> , Hidalgo Ramos, D. M.<sup>3</sup>, Borbón Gracia, A.<sup>4\*</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Colegio de Ciencias Agropecuarias, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID Agricultura Familiar, Jalisco. México.

<sup>3</sup> Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Bácum Sonora CP: 85270, México.

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Norman E. Borlaug, km. 12. Cajeme, Obregón, Sonora, México.



**Please cite this article as/Como citar este artículo:** Marroquín Morales J. A., Lugo García G. A., Gayosso Barragán O., Hidalgo Ramos D. M., Borbón Gracia A. (2025). Impact of three irrigation regimes on wheat grain yield in southern Sonora, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1837. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1837>

### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: October 17<sup>th</sup> 2024.

Accepted/Aceptado: May 21<sup>th</sup> 2025.

Available on line/Publicado: June 04<sup>th</sup> 2025.

### RESUMEN

La escasez de agua para riego está afectando la producción de trigo en México, por lo que es necesario seleccionar genotipos más eficientes con el uso del agua. El objetivo fue evaluar el rendimiento de grano y sus componentes de siete genotipos de trigo cristalino, bajo tres regímenes de riego durante los ciclos otoño-invierno 2021-2022 y 2022-2023. Se evaluaron cinco variedades y dos líneas experimentales bajo tres calendarios de riego por gravedad (2, 3 y 4 riegos de auxilio). Se utilizó un diseño completamente al azar bajo un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Las láminas aplicadas para dos, tres y cuatro riegos de auxilio fue de 49.5, 63.4 y 72.5 cm respectivamente. Se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) para rendimiento de grano entre regímenes de humedad. Con cuatro auxilios se obtuvo un rendimiento de 8,482.9 kg ha<sup>-1</sup>, con tres auxilios 7,709.4 kg ha<sup>-1</sup> y con dos auxilios el rendimiento fue de 6,645.9 kg ha<sup>-1</sup>. La línea STOT presentó el mayor rendimiento de grano, al igual que la línea TARRO y la variedad Noroeste C2021, aunque estas dos últimas presentaron un rendimiento similar ( $p \leq 0.05$ ) al resto de los materiales. El peso hectolítico presentó la mayor correlación con el rendimiento de grano.

**PALABRAS CLAVE:** *Triticum durum* L., estrés hídrico, genotipos, riego por gravedad, rendimiento.

\*Corresponding Author:

Alberto Borbón Gracia. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Norman E. Borlaug. km. 12. Cajeme, Obregón, Sonora, México. Teléfono (644) 189 3505. E-mail: [borbon.alberto@inifap.gob.mx](mailto:borbon.alberto@inifap.gob.mx)

---

## ABSTRACT

---

Water scarcity for irrigation is affecting wheat production in Mexico, making it essential to select genotypes with greater water-use efficiency. This study aimed to evaluate grain yield and its components in seven durum wheat genotypes under three irrigation regimes during the 2021–2022 and 2022–2023 autumn–winter cycles. Five commercial varieties and two experimental lines were assessed under three gravity irrigation schedules (2, 3, and 4 supplemental irrigations). A completely randomized design was used, with a split-plot arrangement and three replications. The applied water depths for two, three, and four supplemental irrigations were 49.5, 63.4, and 72.5 cm, respectively. A significant difference ( $p \leq 0.05$ ) was found in grain yield across irrigation treatments. The highest yield was obtained with four supplemental irrigations (8,482.9 kg ha<sup>-1</sup>), followed by three (7,709.4 kg ha<sup>-1</sup>) and two (6,645.9 kg ha<sup>-1</sup>). The STOT line achieved the highest grain yield, followed by the TARRO line and the Noroeste C2021 variety, although the latter two showed statistically similar yields ( $p \leq 0.05$ ) to the rest of the genotypes. Hectoliter weight exhibited the strongest correlation with grain yield.

---

**KEY WORDS:** *Triticum durum* L., water stress, genotypes, gravity irrigation, yield.

---

## Introducción

México es un país particularmente vulnerable a la escasez de agua, lo cual afecta directamente su producción agrícola. Esto se debe a que una gran parte del territorio nacional se encuentra clasificada como zona árida y semiárida (Salinas *et al.*, 1998). En las regiones del país donde las sequías son recurrentes, la agricultura bajo riego constituye un factor clave para el desarrollo, sin embargo, la competencia por los recursos hídricos representa una de las principales amenazas para el crecimiento en estas zonas. Por lo tanto, es necesario que la agricultura de riego optimice el uso del agua, reduciendo los volúmenes aplicados sin comprometer de manera significativa los rendimientos (Ojeda *et al.*, 2006).

El trigo (*Triticum* spp.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, siendo uno de los tres granos más producidos y consumidos junto con el arroz y el maíz (Neri *et al.*, 2021). En el 2023, se sembraron más de 565,000 hectáreas de trigo en México, donde más del 90 % de la producción se realiza bajo condiciones de riego (SIAP, 2023), no obstante, uno de los principales desafíos para la producción de trigo en el país es la limitada disponibilidad de agua, y el estado de Sonora es uno de los más afectados por ser una región clasificada dentro de las áreas hidrológicas con un alto grado de estrés hídrico (CONAGUA, 2024). A pesar de estas restricciones, Sonora

ocupa el primer lugar a nivel nacional en la producción de trigo, con una superficie superior a las 260,000 hectáreas, seguido de Guanajuato, Sinaloa y Baja California (SIAP, 2024).

En los últimos años, las sequías provocadas por el cambio climático global se han vuelto más frecuentes, lo que hace indispensable la investigación sobre la respuesta de las plantas al déficit hídrico (Lan *et al.*, 2011). El impacto de la sequía en la productividad de los cultivos depende de varios factores intrínsecos, como la etapa fenológica en la que se encuentra la planta al momento de la sequía, la especie vegetal y la variedad dentro de una misma especie (Robles, 2007; Rosabal *et al.*, 2014). El rendimiento de grano de los cultivos está relacionado con la cantidad de agua que las plantas logran transpirar, la eficiencia con la que convierten esa agua en biomasa y la proporción de biomasa destinada a la formación de granos (Sadras & McDonald, 2012). Alcanzar una combinación de alta eficiencia en el uso del agua y altos rendimientos es fundamental para el desarrollo sustentable de la producción de trigo (Xu *et al.*, 2018).

El riego deficitario controlado es una técnica que permite gestionar la aplicación de agua de forma precisa, sin comprometer de manera significativa la producción ni la calidad del cultivo (Sánchez, 2009). La implementación de riego restringido basado en las etapas fenológicas permite reducir la frecuencia y cantidad de agua aplicada, con un impacto mínimo en los rendimientos (Mendoza, *et al.*, 2016). La mayor reducción en el rendimiento de trigo ocurre cuando el déficit hídrico coincide con la etapa de floración, que corresponde al periodo crítico para la determinación del número de granos por espiga (Sadras & McDonald, 2012), ya que el rendimiento del grano está determinado por factores como el número de espigas por unidad de superficie, el número de granos por espiga y el peso promedio de los granos, en consecuencia, cualquier variación en alguno de estos componentes impactará directamente en el rendimiento del grano (Ataei, 2006). En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el rendimiento de grano y sus componentes de siete genotipos de trigo cristalino, bajo tres regímenes de riego, durante los ciclos otoño–invierno 2021–2022 y 2022–2023, en el sur de Sonora, México.

## Material y Métodos

### Ubicación del experimento

El experimento se estableció en el Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en la zona árida del sur del estado de Sonora, México, ubicado en la región del Valle del Yaqui, en las coordenadas 27° 22' 15" LN y 109° 55' 21" LO, a una altitud de 39 msnm. Se evaluaron dos ciclos del cultivo: otoño– invierno (OI) 2021–2022 y 2022–2023. El tipo de suelo es vertisol (> 50 % arcilla). La precipitación anual promedio es de 434.9 mm, de los cuales el 83 % se concentra entre los meses de junio y octubre, mientras que el resto se distribuye entre noviembre y marzo. La temperatura media anual es de 24.6 °C, con una mínima anual promedio de 14.9 °C y una máxima de 34.3 °C. Los valores promedio anuales de la evapotranspiración de referencia acumulada ( $ET_0$ ) oscilan entre 2,000 y 2,445 mm (CONAGUA, 2024), lo que supera considerablemente a la precipitación acumulada anual.

## Manejo agronómico

El ensayo de rendimiento se estableció durante los ciclos agrícolas otoño-invierno 2021-2022 y 2022-2023. En ambos ciclos, la siembra se realizó durante la primera semana de diciembre, esta se considera dentro del intervalo óptimo de siembra. Se sembró en tierra seca con una sembradora experimental impulsada con un tractor, con una densidad de siembra de 100 kg ha<sup>-1</sup> de semilla, sembrados a doble hilera sobre el lomo del surco, posterior a la siembra se aplicó el riego de nacencia (EI). La dosis de fertilización fue 276N-52P-00K, se aplicó el total de P y la mitad de N en presiembra y el resto antes del primer riego de auxilio (SI). El fertilizante se aplicó en banda a un costado de la hilera de plantas, utilizando una sembradora triguera. La fuente de N fue urea (46N-00P-00K) y la de P, fosfato monoamónico (11N-52P-00K). El sistema de riego empleado fue por gravedad, utilizando sifones de aluminio de una pulgada y media.

Para el control de maleza de hoja ancha, se realizó una aplicación química en post emergencia utilizando el herbicida Metsulfurón metil + thifensulfurón metil en dosis de 30 g ha<sup>-1</sup>. En el caso de la maleza de hoja angosta, se aplicó Pinoxaden (5.05 %) a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup>. Para el combate de pulgón de follaje (*Schizaphis graminum*) se realizó una aplicación de 250 mL ha<sup>-1</sup> del insecticida Imidacloprid + betacyfluthrin. La aplicación del herbicida y del insecticida fue a los 35 días después de la siembra (DAS) en los tres regímenes de riego, empleando una aspersora de 12 boquillas impulsada por un tractor y un gasto de agua de 250 L ha<sup>-1</sup>. Para el control de enfermedades no se realizaron aplicaciones preventivas ni curativas, ya que las variedades y líneas evaluadas presentan resistencia a las principales enfermedades como son la roya de la hoja y roya amarilla o lineal.

## Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron siete genotipos, de los cuales cinco corresponden a variedades comerciales de trigo cristalino liberadas por el programa de mejoramiento genético de trigo del INIFAP, y dos líneas avanzadas provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (Tabla 1). Estos genotipos fueron seleccionados por sus buenas características agronómicas y de producción, y representan los materiales más utilizados en el sur de Sonora. Asimismo, se eligió la variedad CIRNO C2008 como testigo, ya que es la más cultivada en la región. Todos los genotipos fueron evaluados bajo tres diferentes regímenes de riego: 2 riegos de auxilio (T1), 3 riegos de auxilio (T2) y 4 riegos de auxilio (T3), este último considerado como testigo, debido a que se le dieron las condiciones hídricas necesarias para el desarrollo del cultivo. Se utilizó un diseño completamente al azar bajo un arreglo de tratamientos en parcelas divididas, donde la parcela grande fueron el número de riegos y la parcela chica los genotipos, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en dos surcos de cinco metros, separados a una distancia de 0.80 cm (8 m<sup>2</sup>).

**Tabla 1. Líneas y variedades utilizadas para el presente estudio en los dos ciclos agrícolas.**

No.	Genealogía	Estatus
1	CIRNO C2008	*Variedad testigo
2	CENEBO Oro C2017	Variedad
3	Don Lupe C2020	Variedad
4	Noroeste C2021	Variedad
5	ROELY HP C2024	Variedad
6	STOT	Línea
7	TARRO	Línea

\*Variedad más sembrada en la región

## Variables de estudio

Las variables agronómicas evaluadas se realizaron siguiendo la metodología descrita por Pietragalla & Pask (2013). Estas fueron la altura de planta (PH), la cual se midió en centímetros desde el nivel del suelo hasta la parte superior de la espiga con la ayuda de un estadal, los días a floración (DTF) se registraron desde la fecha de siembra hasta cuando el 50 % de las plantas iniciaron la floración, la madurez fisiológica (DPM) se midió en número de días desde la siembra hasta cuando el 50 % de las plantas presentaban pedúnculos de color amarillo y las glumas comenzaban a cambiar de color. Para evaluar los componentes de rendimiento, se utilizó la metodología descrita por Miranda *et al.* (2016). El peso de 1000 granos (TGW) se midió en gramos con una báscula digital, usando una muestra compuesta tomada al azar del grano cosechado. El índice de cosecha (HI) se calculó mediante el cociente GYI/BYI, donde GYI= rendimiento de grano de 25 tallos de la parcela, BYI= rendimiento biológico de 25 tallos de la parcela. Para determinar el número de espigas por metro cuadrado (SPSM), se contó el número de espigas por  $m^2$  en cada repetición de los genotipos evaluados. El peso hectolítrico (HW) se obtuvo a partir de una muestra limpia de 500 g, medida con una balanza volumétrica (Seedburo Equipment Co., Chicago, IL) en  $kg\ hL^{-1}$ . Para evaluar el rendimiento de grano, se cosecho el total de la parcela experimental ( $8\ m^2$ ) y el rendimiento se extrapoló a  $kg\ ha^{-1}$ . La cosecha se realizó con una trilladora experimental y el rendimiento se ajustó al 12 % de humedad.

Las variables hídricas evaluadas fueron lámina neta (NI), lámina bruta (GI), y la eficiencia de aplicación (AE). Además, se registró la etapa fenológica de aplicación de cada riego de auxilio (SI), y los días al riego (DTI). Para registrar la humedad volumétrica del suelo antes del riego ( $HV_{act}$ ), se utilizó un sensor TDR (Time Domain Reflectometer) en los riegos de germinación y de auxilio. La lámina neta necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo (FC) se determinó mediante la ecuación 1.

Ecuación 1.

$$NI = (FC - HV_{act}) * Sd$$

donde  $FC$  y  $HV_{act}$  se expresan en  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , y  $Sd$  representa la profundidad del suelo (cm).

La lámina bruta (GI) se determinó con la ecuación 2.

$$Ecuación 2. \quad GI = \frac{Q * t}{A}$$

donde  $Q$  es el volumen de agua aplicado a la parcela ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ),  $t$  es el tiempo de riego (s) y  $A$  es la superficie regada ( $\text{m}^2$ ).

La eficiencia de aplicación (AE) se calculó utilizando la ecuación 3.

$$Ecuación 3. \quad AE = \frac{NI}{GI} * 100$$

donde  $NI$  y  $GI$  se expresan en cm.

## Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza combinado de dos ciclos de cultivo, bajo un diseño experimental completamente al azar en parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron el número de riegos de auxilio y las parcelas chicas las variedades de trigo cristalino, la comparación de medias entre los tratamientos se llevó a cabo utilizando la prueba de Tukey para calcular la diferencia mínima significativa ( $p \leq 0.05$ ). El análisis de la información se realizó utilizando el software SAS 9.4 (Statistical Analysis System, 2013) para Windows.

## Resultados y Discusión

Se obtuvieron las etapas fenológicas correspondientes a la aplicación de cada SI, DTI, NI, GI y AE para cada tratamiento de riego (Tabla 2). En el caso del riego para la germinación se aplicó para los tres tratamientos una NI de 17.3 cm, lo que representa  $1,730 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . T1 recibió un estrés hídrico severo en amacollamiento y moderado en la etapa de embuche, se aplicó una GI en el primer RA de 15.7 cm y en el segundo 16.5 cm, teniendo un total acumulado de 49.5 cm; la AE promedio para este tratamiento fue de 60.3 %. Los resultados obtenidos de lámina

bruta de este estudio coinciden con los reportados por Sifuentes *et al.* (2021), quienes aplicaron una GI de 50.6 cm durante todo el ciclo del cultivo de maíz, en el norte de Sinaloa. Su estudio se realizó bajo un sistema de riego por gravedad, donde aplicaron un riego de germinación y dos de auxilio. El T2 recibió estrés ligero en amacollamiento, con la finalidad de no sufrir estrés en las etapas de embuche y llenado de grano, ya que en estas etapas el estrés hídrico disminuye considerablemente el rendimiento de grano. Ayed *et al.* (2017), manifestaron que el rendimiento y algunos componentes se ven afectados cuando se reduce la cantidad de agua en la etapa de llenado de grano. La lámina bruta (GI) aplicada para este tratamiento fue de 15.4, 16.7 y 14.0 cm en el 1<sup>er</sup>, 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> RA, con una lámina acumulada de 63.4 cm y una AE promedio de 61.0 %, misma lámina reportada por Ledesma *et al.* (2010), en Celaya, Guanajuato, en un estudio donde aplicaron tres riegos de auxilio en el cultivo de trigo. Los SI en el T3 se aplicaron en las etapas de amacollamiento, encañe, floración y llenado de grano con una GI de 14.0, 13.0, 14.9 y 13.3 respectivamente, con una lámina total de 72.5 cm y una eficiencia de 58.9 %.

### Análisis de varianza

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza, donde se observan diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre ciclos de cultivo para todas las variables evaluadas, con excepción del rendimiento de grano (GY), lo cual indica variación en los dos años de evaluación. En el número de riegos se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables evaluadas, lo que indica que la cantidad de agua disponible en el suelo para el crecimiento y desarrollo del cultivo afectó a todas las variables en el estudio. Lo anterior concuerda con los resultados reportados por UI *et al.* (2018), quienes encontraron que el rendimiento de grano se ve influenciado por el riego, genotipo y aplicación de nitrógeno. También se encontró diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos para todas las variables evaluadas, esto indica que los materiales evaluados muestran diversidad genética. Hubo diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en la interacción ciclo \* genotipos para las variables DTF, HW y TGW. En REP\*IN no se encontró diferencia significativa para todas las variables evaluadas, para el caso de la interacción IN\*GEN únicamente se presentó diferencia significativa para la variable de TGW (Cuadro 3).

**Tabla 2. Lámina neta, lámina bruta y eficiencias de aplicación en tratamientos de riego en siete genotipos de trigo cristalino, Campo Experimental Norman E. Borlaug, Obregón, Sonora, México.**

Tratamiento	Riego	Etapa fenológica	DTI	NI (cm)	GI (cm)	AE (%)
<b>T1</b>	Germinación	Siembra	0	10.6	17.3	61.2
	1 SI	Amacollamiento	50	9.8	15.7	62.4
	2 SI	Embuche	85	9.5	16.5	57.5
<b>Total</b>				29.9	49.5	181.1
<b>Promedio</b>				9.9	16.5	60.3
<b>T2</b>	Germinación	Siembra	0	10.6	17.3	61.2
	1 SI	Amacollamiento	43	9.5	15.4	61.6
	2 SI	Embuche	76	10.3	16.7	61.4
	3 SI	Llenado de grano	99	8.4	14.0	59.9
<b>Total</b>				38.8	63.4	244.1
<b>Promedio</b>				9.7	15.8	61.0
<b>T3</b> <b>Testigo</b>	Germinación	Siembra	0	10.6	17.3	61.2
	1 SI	Amacollamiento	36	9.0	14.0	64.2
	2 SI	Encañe	67	8.1	13.0	62.3
	3 SI	Floración	88	7.0	14.9	46.9
	4 SI	Llenado de grano	104	8.0	13.3	60.1
<b>Total</b>				42.7	72.5	294.7
<b>Promedio</b>				8.5	14.5	58.9

DTI: días al riego; NI: lámina neta; GI: lámina bruta; AE: eficiencia de aplicación; SI: riego de auxilio.

**Tabla 3. Análisis de varianza, cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en tratamientos de riego en siete genotipos de trigo cristalino, ciclos otoño-invierno 2021-2022, 2022-2023, Campo Experimental, Norman E. Borlaug, Obregón, Sonora, México.**

SV	DF	GY	PH	DTF	DPM	HW	TGW
CICLO	1	341744.7ns	340.0**	1308.2**	1116.0**	4240.9**	23684.0**
IN	2	35726357.6**	458.3**	35.6**	215.4**	5755.4**	213.3**
REP*IN	6	226090.9ns	1.4ns	0.6ns	2.1ns	13.7ns	11.0ns
GEN	6	554393.2**	118.2**	19.9**	21.3**	2214.5**	171.4**
IN*GEN	12	181610.5ns	4.3ns	1.0ns	1.8ns	12.5ns	22.9*

## Continuación

**Tabla 3. Análisis de varianza, cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en tratamientos de riego en siete genotipos de trigo cristalino, ciclos otoño-invierno 2021-2022, 2022-2023, Campo Experimental, Norman E. Borlaug, Obregón, Sonora, México.**

SV	DF	GY	PH	DTF	DPM	HW	TGW
CICLO*GEN	6	121821.1 <sup>ns</sup>	9.2 <sup>ns</sup>	6.3 <sup>**</sup>	1.0 <sup>ns</sup>	94.8 <sup>**</sup>	32.8 <sup>**</sup>
ERROR	92	104747.9 <sup>**</sup>	5.9 <sup>**</sup>	1.2 <sup>**</sup>	1.4 <sup>**</sup>	17.3 <sup>**</sup>	10.6 <sup>**</sup>
R <sup>2</sup>	-	0.8	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
CV (%)	-	4.2	2.7	1.4	1.0	0.5	5.2

\*, \*\*: significativas con  $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.01$ , respectivamente; ns: no significativo; SV: fuente de variación; IN: número de riegos; GEN: genotipos; REP: Repeticiones; DF: grados de libertad, GY: rendimiento de grano; PH: altura de planta; DTF: días a floración; DPM: días a madurez fisiológica; HW: peso hectolítico; TGW: peso de mil granos; CV: coeficiente de variación.

Al comparar los dos ciclos de evaluación (Cuadro 4), se identificaron diferencias en las condiciones ambientales que influyeron en la expresión de los genotipos. En el ciclo AW 2021-2022 se registraron 589 horas frío acumuladas, mientras que en el ciclo AW 2022-2023 fueron 754 horas (REMAS, 2024), esto resultó en un ciclo más prolongado para el segundo ciclo de evaluación. Según Gizaw *et al.* (2016), la temperatura ambiental y la disponibilidad de humedad en el suelo explican el 86 % de la variabilidad en el rendimiento. El mayor número de horas frío acumuladas durante el ciclo AW 2022-2023 ocasionó que se tuviera una mayor altura de planta (PH), mayor número de días a floración (DTF), días a madurez fisiológica (DPM), y peso de mil granos (TGW). Las temperaturas mínimas registradas en este periodo ( $\leq 5^\circ$ ) ocurrieron en la etapa de amacollamiento entre los 38 y 53 días después de la siembra (DAS), lo que coincidió con el primer riego de auxilio (SI) para los tratamientos evaluados. Estos resultados concuerdan con lo reportado por (Buenrostro *et al.*, 2022). En contraste en el ciclo AW 2021-2022 se obtuvieron reducciones significativas en PH, DTF, DPM y TGW, esto debido a temperaturas más cálidas durante el crecimiento y desarrollo del cultivo. Estudios previos realizados por Zarazúa *et al.* (2011), indican que el cultivo de trigo sufre condiciones desfavorables cuando las temperaturas superan el umbral crítico. Además, la sequía y la temperatura pueden generar efectos combinados (Kaur & Behl, 2010). Según Paquini *et al.* (2016), afirman que la interacción entre la sequía y las temperaturas extremas durante el llenado de grano son determinantes para reducir los componentes del rendimiento. Los resultados muestran el mismo rendimiento de grano ( $p \leq 0.05$ ) para los dos ciclos agrícolas, esto se debió a la estabilidad de los genotipos evaluados.

En la comparación del número de riegos (2, 3 y 4 SI), se observó que a mayor disponibilidad de agua en el suelo permitió que los genotipos evaluados expresaran su máximo potencial de rendimiento, ya que la mayor producción de grano ( $p \leq 0.05$ ) se obtuvo con cuatro riegos de auxilio ( $8,482.9 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguido por el tratamiento de tres riegos ( $7,709.4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y finalmente el de dos auxilios ( $6,645.9 \text{ kg ha}^{-1}$ ), estos resultados coinciden con los reportados por Martínez *et al.* (2020), en un estudio realizado en Celaya, Guanajuato, donde bajo condiciones de riego restringido, detectaron reducciones en el periodo de llenado de grano, el número de espigas por metro cuadrado, el rendimiento biológico, el índice de cosecha y los granos por metro cuadrado, lo que condujo a una disminución en los rendimientos. En cuanto a PH, DTF y TGW no se encontró diferencia ( $p \leq 0.05$ ) entre tres y cuatro SI, únicamente para DPM y HW fue superior el tratamiento de cuatro SI, mientras tanto, el tratamiento con dos SI obtuvo los valores más bajos ( $p \leq 0.05$ ) en las variables PH, DTF, DPM, PH y TGW (Cuadro 4). Estos resultados concuerdan con lo señalado por Blum (2002), quien afirma que el déficit hídrico adelanta la floración en el cultivo de trigo. Estas reducciones en los componentes de rendimiento resultaron en el rendimiento más bajo, debido a que los riegos se suspendieron en la etapa de embuche, lo que provocó falta de humedad en el suelo durante el periodo de llenado de grano, impidiendo que el cultivo alcanzara su máximo potencial de rendimiento. Según Madani *et al.* (2010), el efecto de la sequía se refleja en una disminución de la tasa de llenado de grano y en una menor distribución de la materia seca. Así mismo, lo anterior coincide con lo indicado por Thapa *et al.* (2019) y Valdés *et al.* (2017), quienes concluyeron que el rendimiento y algunos componentes del cultivo disminuyen con la aplicación de menor agua de riego. De manera similar Solís *et al.* (2013), concluyen que, con dos riegos de auxilio el rendimiento de grano puede disminuir hasta un 13 % en comparación con el obtenido mediante tres riegos de auxilio en el cultivo de trigo. De igual manera, Shamsi & Kobraee (2011), afirman que el estrés por sequía reduce significativamente el rendimiento, el peso de mil granos y el número de granos por metro cuadrado. Este estudio demuestra la efectividad del mejoramiento genético en México (Cuadro 5). Sin embargo, como menciona Blum (2011), a pesar de los avances significativos en el rendimiento del trigo bajo condiciones adversas a nivel mundial, aún queda mucho por hacer para seguir optimizando su productividad en condiciones ambientales cada vez más desafiantes.

**Tabla 4. Valores medios para ciclos evaluados y tratamientos de riego en siete genotipos de trigo cristalino, ciclos otoño-invierno 2021-2022, 2022-2023, Campo Experimental, Norman E. Borlaug, Obregón, Sonora, México.**

Ciclos	GY	PH	DTF	DPM	HW	TGW
2022/2023	7560.6 <sup>a</sup>	90.1 <sup>a</sup>	82.6 <sup>a</sup>	123.4 <sup>a</sup>	816.0 <sup>b</sup>	75.8 <sup>a</sup>
2021/2022	7664.8 <sup>a</sup>	86.8 <sup>b</sup>	76.1 <sup>b</sup>	117.4 <sup>b</sup>	827.6 <sup>a</sup>	58.4 <sup>b</sup>
LSD	114.5	0.8	0.4	0.4	1.4	1.1

## Continuación

**Tabla 4. Valores medios para ciclos evaluados y tratamientos de riego en siete genotipos de trigo cristalino, ciclos otoño-invierno 2021-2022, 2022-2023, Campo Experimental, Norman E. Borlaug, Obregón, Sonora, México.**

Ciclos	GY	PH	DTF	DPM	HW	TGW
Riegos	GY	PH	DTF	DPM	HW	TGW
4	8482.9 <sup>a</sup>	90.0 <sup>a</sup>	79.9 <sup>a</sup>	122.3 <sup>a</sup>	829.9 <sup>a</sup>	63.9 <sup>a</sup>
3	7709.4 <sup>b</sup>	90.6 <sup>a</sup>	79.9 <sup>a</sup>	121.0 <sup>b</sup>	827.0 <sup>b</sup>	62.8 <sup>a</sup>
2	6645.9 <sup>c</sup>	84.6 <sup>b</sup>	78.3 <sup>b</sup>	117.9 <sup>c</sup>	808.4 <sup>c</sup>	59.6 <sup>b</sup>
LSD	168.2	1.2	0.5	0.6	2.1	1.6

Medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). GY: rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>); PH: altura de planta (cm); DTF: días a floración (días); DPM: días a madurez fisiológica (días); HW: peso hectolítico (g); TGW: peso de mil granos (g); LSD = Diferencia mínima significativa Tukey ( $p= 0.05$ ).

## Rendimiento de grano y sus componentes

En rendimiento de grano sobresalen estadísticamente las líneas STOT y TARRO y la variedad Noroeste C2021, aunque estas dos últimas son iguales ( $p \leq 0.05$ ) al resto de los materiales evaluados. CIRNO C2008 obtuvo el rendimiento promedio más bajo de todo el estudio, con 7,400.5 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 5), pero solo fue superada estadísticamente por la línea STOT. Cabe destacar que CIRNO C2008 presentó estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) mayor TGW que el resto de los materiales, sin embargo, fue la que obtuvo menor rendimiento de grano, contrario a lo que reportan Espitia *et al.* (2021), quienes mencionan que el peso de mil granos y el número de granos por metro cuadrado son los factores que determinan el potencial de rendimiento del cultivo. Con respecto a SPSM e HI no se encontró diferencia significativa entre los genotipos evaluados (Cuadro 5), probablemente esto se debió a la estabilidad y alto rendimiento que presentan los materiales evaluados en este estudio y a la buena respuesta a los regímenes de riego. Martín *et al.* (2011), señalan que el número de SPSM es un componente fundamental para determinar la cantidad de granos por metro cuadrado.

**Tabla 5. Valores medios de variables agronómicas evaluadas en siete genotipos de trigo cristalino en los ciclos otoño-invierno 2021-2022, 2022-2023, Campo Experimental, Norman E. Borlaug, Obregón, Sonora, México.**

Genotipos	GY	PH	DTF	DPM	HW	TGW	SPSM	HI
CIRNO C2008	7400.5 <sup>b</sup>	84.8 <sup>c</sup>	80.5 <sup>a</sup>	120.7 <sup>bc</sup>	817.7 <sup>c</sup>	67.8 <sup>a</sup>	368.4 <sup>a</sup>	54.6 <sup>a</sup>
CENEBO Oro C2017	7542.6 <sup>b</sup>	91.2 <sup>a</sup>	77.7 <sup>d</sup>	119.1 <sup>d</sup>	833.7 <sup>a</sup>	61.0 <sup>bc</sup>	403.3 <sup>a</sup>	53.8 <sup>a</sup>
Don Lupe C2020	7469.8 <sup>b</sup>	87.7 <sup>b</sup>	79.0 <sup>bc</sup>	120.6 <sup>bc</sup>	809.5 <sup>d</sup>	61.8 <sup>b</sup>	353.3 <sup>a</sup>	53.8 <sup>a</sup>
Noroeste C20221	7708.5 <sup>ab</sup>	86.1 <sup>b</sup>	79.6 <sup>ab</sup>	121.2 <sup>ab</sup>	829.2 <sup>b</sup>	61.9 <sup>b</sup>	408.4 <sup>a</sup>	54.0 <sup>a</sup>
ROELY HP C2024	7579.7 <sup>b</sup>	90.3 <sup>a</sup>	78.3 <sup>cd</sup>	119.8 <sup>cd</sup>	828.9 <sup>b</sup>	57.8 <sup>c</sup>	368.3 <sup>a</sup>	53.4 <sup>a</sup>
STOT	7932.6 <sup>a</sup>	91.3 <sup>a</sup>	80.0 <sup>ab</sup>	122.1 <sup>a</sup>	828.3 <sup>b</sup>	63.7 <sup>b</sup>	389.6 <sup>a</sup>	52.8 <sup>a</sup>
TARRO	7655.3 <sup>ab</sup>	87.5 <sup>b</sup>	80.4 <sup>a</sup>	119.2 <sup>d</sup>	805.1 <sup>e</sup>	60.5 <sup>bc</sup>	395.4 <sup>a</sup>	52.4 <sup>a</sup>
Media	7612.7	88.4	79.3	120.4	821.81	62.1	383.8	53.6
CV (%)	4.2	2.7	1.4	1.0	0.5	5.2	9.8	5.2
LSD	325.2	2.4	1.1	1.2	4.17	3.2	55.8	4.1

Medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). GY: rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); PH: altura de planta (cm); DTF: días a floración (días); DPM: días a madurez fisiológica (días); HW: peso hectolítrico (g); TGW: peso de mil granos (g); SPSM: espigas por metro cuadrado; HI: índice de cosecha; CV: coeficiente de variación; LSD = Diferencia mínima significativa Tukey ( $p= 0.05$ ).

En el Cuadro 6 se presentan las correlaciones de Pearson entre el rendimiento de grano y sus componentes para los tres calendarios de riego evaluados. Se observó que el rendimiento de grano presentó correlaciones positivas altas con el peso hectolítrico, y correlaciones intermedias con la altura de planta, los días a madurez fisiológica y el índice de cosecha. Estos resultados concuerdan con Espitia *et al.* (2021), quienes reportaron correlaciones positivas entre el rendimiento de grano con altura de planta e índice de cosecha obteniendo valores de 0.4 y 0.54 respectivamente. Asimismo, concuerdan parcialmente con lo encontrado por Beche *et al.* (2014) y Zhou *et al.* (2014), quienes encontraron correlaciones superiores a 0.9 entre el índice de cosecha y el rendimiento de grano, valores más altos que los obtenidos en esta investigación. Los días a floración y los días a madurez fisiológica presentan correlación positiva alta con el TGW, mientras que este último presenta correlación negativa con el peso hectolítrico. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Lavilla (2022), quien encontró correlaciones negativas entre TGW y HW en el cultivo de trigo.

## Conclusiones

El mayor rendimiento de grano se logra con la mayor lámina de riego, sin embargo, se puede reducir un riego de auxilio con solo un 9 % de disminución en el rendimiento de grano, lo cual resulta la opción más viable bajo un escenario de escasez de agua.

La aplicación de dos riegos de auxilio afecta el rendimiento de grano y sus componentes, esto se atribuyen a un estrés hídrico durante la etapa de llenado de grano. En condiciones de disponibilidad hídrica limitada, es fundamental aplicar los riegos de auxilio en las etapas fenológicas más críticas del cultivo para optimizar el uso del agua.

Las líneas STOT y TARRO, y la variedad Noroeste C2021, destacan por su alto rendimiento de grano, siendo STOT la que superó estadísticamente al testigo comercial CIRNO C2008.

**Tabla 6. Correlaciones de Pearson de los componentes del rendimiento en diferentes calendarios de riego.**

	GY	PH	DTF	DPM	HW	TGW	SPSM	HI
GY	1	0.47**	0.13	0.43**	0.58**	0.04	-0.03	0.44**
PH		1	0.35**	0.53**	0.42**	0.34**	0.04	-0.03
DTF			1	0.84**	-0.27**	0.91**	-0.08	0.04
DPM				1	0.04	0.82**	-0.02	0.28*
HW					1	-0.27**	0.08	0.35**
TGW						1	-0.01	0.26*
SPSM							1	-0.07
HI								1

\*, \*\*: significativas con  $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.01$ , respectivamente. GY: rendimiento de grano; PH: altura de planta; DTF: días a floración (días); DPM: días a madurez fisiológica (días); HW: peso hectolítrico (g); TGW: peso de mil granos (g); SPSM: espigas por metro cuadrado; HI: índice de cosecha.

## Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, MMJA, LGGA; desarrollo de la metodología, MMJA, LGGA, GBO, HRDM; manejo de software, MMJA, GBO; validación experimental, BGA, HRDM; análisis de resultados, LGGA, GBO, MMJA, BGA; Manejo de datos, MMJA, LGGA; escritura y preparación del manuscrito, MMJA; redacción, revisión y edición, MMJA, LGGA, GBO, HRDM, BGA; administrador de proyectos, BGA.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

## Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

## Declaraciones éticas

No aplica.

## Declaración de consentimiento informado

No aplica.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada para estudios de doctorado, BECA 826667

Los autores agradecen al INIFAP por las facilidades otorgadas para establecer y culminar el proyecto.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Referencias

- Ayed, S., Rezgui, M., Othmani, A., Rezgui, M., Trad, H., Silva, J. A., & Kharrat, M. (2017). Respuesta al estrés hídrico de trigos duros (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) y harineros (*Triticum aestivum* L.) de Túnez. *Agrociencia*, 51(1), 13-26.
- Ataei, M. (2006). Path analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) yield. Tarim Bilimleri Degisi. Ankara University Fakultesi. 12(3), 227-232.
- Beche, E., Benin G., Da-Silva, C. L., Munaro, L. B., & Marchese, J. A. (2014). Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20th century. *European Journal of Agronomy*, 61, 49-59.
- Buenrostro, R. J. F., Covarrubias, P. J., Solís, M. E., Ledesma, R. L., Cervantes, O. F., Mandujano, B. A., & Gámez, V. A. J. (2022). Impactos del ambiente y riego restringido en el rendimiento de grano de trigo en Guanajuato, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 45(1), 65-73. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.65>
- Blum, A. (2011). Drought tolerance: Is it a complex trait? *Functional Plant Biology*, 38(10), 753–757. <https://doi.org/10.1071/FP11101>
- Blum, A. (2002). Drought tolerance is it a complex trait? In Field Screening for Drought Tolerance in Crop Plants with Emphasis on Rice. Edited by Saxena , N.P. and O'Toole , J.C. pp. 17-22. International Workshop on Field Screening for Drought Tolerance in Rice. ICRISAT, Patancheru, India.

- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2024). Normales climatológicas por estado (1981-2020). Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado> (Agosto 2024)
- Espitia, R. E., Martínez, C. E., Villaseñor, M. H. E., Hortelano S. R. R., Limón, O. A., & Lozano G. A. (2021). Variabilidad genética y criterios de selección del rendimiento y los componentes en trigos harineros de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 305-315. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2787>
- Gizaw, S. A., Garland, C. K., & Carter, A. H. (2016). Evaluación de características agronómicas y reflectancia espectral en trigo de invierno del noroeste del Pacífico en condiciones de secano y riego. *Field Crops Research*, 196(9), 168-179. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.018>
- Kaur, V., & Behl, R. K. (2010). Grain yield in wheat as affected by short periods of high temperature, drought and their interaction during pre- and post-anthesis stages. *Cereal Research Communications*, 38, 514-520. <https://doi.org/10.1556/CRC.38.2010.4.8>
- Lan, P. L., Zhen, W. Y., Dong, W., Yong, L. Z., & Shi, Y. (2011). Effects of Plant Density and Soil Moisture on Photosynthetic Characteristics of Flag Leaf and Accumulation and Distribution of Dry Matter in Wheat". *Acta Agronómica Sinica*, 37(6), 1049-1059. [https://doi.org/10.1016/S1875-2780\(11\)60030-8](https://doi.org/10.1016/S1875-2780(11)60030-8)
- Lavilla, M. (2022). Efecto sobre el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.) de la roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), 7. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v33n1/2215-3608-am-33-01-00013.pdf>
- Ledesma, R. L., Solís, M. E., Suaste, F. M. D. P., & Rodríguez, G. M. F. (2010). Relación de métodos de labranza, siembra, riego y dosis de nitrógeno con el rendimiento de trigo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(1), 55-63. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v1n1/v1n1a6.pdf>
- Martínez, C. E., Espitia, R. E., Villaseñor, M.H. E., & Hortelano, S. R. R. (2020). La productividad del trigo harinero bajo diferentes condiciones de riego. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1349-1360. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2050>
- Martín, G. O., Agüero, S.N., Vera, J.T., Nicosia, M.G., Fernández M. M., & Lucas J. (2011). Componentes del rendimiento y productividad, de trigo cultivado en secano en la llanura subhúmeda-húmeda de Tucumán. *Avances en la Producción Vegetal y Animal del NOA*, 2011, 332-337.
- Madani, A., Rad, A. S., Pazoki, A., Nourmohammadi, G., & Zarghami, R. (2010). Respuestas del llenado de grano y la distribución de materia seca del trigo (*Triticum aestivum* L.) a modificaciones de la fuente: sumidero bajo deficiencia de agua y nitrógeno postanthesis. *Acta Scientiarum. Agronomía*, 32, 145-151. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.6273>
- Mendoza, P. C., Sifuentes, I. E., Ojeda, B. W., & Macías, C. J. (2016). Respuesta del maíz de riego superficial al riego deficitario regulado. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 8(1), 29-40. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2016.03.001>
- Miranda, D. L. E., López, C. C., Benítez, R. I., & Mejía C. J. A. (2016). Desarrollo radical y rendimiento en diferentes variedades de trigo, cebada y triticale bajo condiciones limitantes de humedad del suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 393-407. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000400393&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000400393&script=sci_arttext)
- Neri, J. C., Huaman, H. E., Collazos, S. R., Oliva, M., & Ix-Balam, M. A. (2021). Influencia

- del estrés por déficit hídrico sobre el rendimiento de cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista De Investigación De Agroproducción Sustentable*, 5(1), 73-79. <https://doi.org/10.25127/aps.20211.762>
- Ojeda, B. W., Sifuentes, I. E., & Unland, W. (2006). Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. *Agrociencia*, 40, 13 - 25. [http://187.174.234.55/bitstream/handle/20.500.12013/1736/OT\\_086.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://187.174.234.55/bitstream/handle/20.500.12013/1736/OT_086.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Paquini, R. S. L., Benítez, R. I., Villaseñor, M. H. E., Muñoz, O. A., & Vaquera, H. H. (2016). Incremento en el rendimiento y sus componentes bajo riego normal y restringido de variedades mexicanas de trigo. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(4), 367-378. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802016000400367&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802016000400367&script=sci_arttext)
- Pietragalla, J. & Pask, A. J. D. (2013). Rendimiento de grano y componentes del rendimiento. In: *fitomejoramiento fisiológico II: una guía de campo para la caracterización fenotípica de trigo*. Pask, A. J. D.; Pietragalla, J.; Mullan, D. M.; Chávez-Dulanto, P. N. y Reynolds, M. P. (Eds.). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México, D. F. 95-103 pp.
- Rosabal, A. L., Martínez, G. L., Reyes, G. Y., Dell'Amico, R. J., & Núñez, V. M. (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. *Cultivos Tropicales*, 35(3), 24-35. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362014000300003&script=sci\\_arttext&tlang=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362014000300003&script=sci_arttext&tlang=pt)
- Robles, C. A. A. (2007). Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua. *Biología y Biotecnología*, 14, 253-262. [https://www.researchgate.net/profile/Alejandra-Covarrubias/publication/268000327\\_Sobrevivir\\_al\\_estres\\_como\\_responden\\_las\\_plantas\\_a\\_la\\_falta\\_de\\_agua/links/548b191d0cf2d1800d7db185/Sobrevivir-al-estres-como-responden-las-plantas-a-la-falta-de-agua.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alejandra-Covarrubias/publication/268000327_Sobrevivir_al_estres_como_responden_las_plantas_a_la_falta_de_agua/links/548b191d0cf2d1800d7db185/Sobrevivir-al-estres-como-responden-las-plantas-a-la-falta-de-agua.pdf)
- Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de Sonora [REMAS]. (2024). Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de Sonora. [www.siafeson.com/remas](http://www.siafeson.com/remas)
- Sadras, V. O., & McDonald, G. (2012). Water use efficiency of grain crops in Australia: principles, benchmarks and management. *Change*, 11 (19), 24.
- Salinas Z. C. A., Lluch B. D., Hernández V. S., & Lluch C. D.B. (1998). La aridez en el noreste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal. *Atmósfera*, 11(1), 29-44.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2023). Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/siap>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/siap>
- Sánchez, B. M. (2009). Bases para el manejo de aguas en zonas infradotadas. Relación agua-suelo-planta. AECID. *Mundo Prensa. Madrid*, 43-63.
- SAS Institute (2011). SAS/STAT Versión 9.3 User's Guide. SAS Institute, Inc. Cary, North Carolina, USA. 8621.
- Solís, M. E., J. Huerta, E. J., Villaseñor, M. H. E., Pérez, H. P., Ramírez, R. A., Ledesma, R. L., & Cruz, G. M. L. (2013). Luminaria F2012, nueva variedad de trigo harinero para riego restringido en El Bajío. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(2), 325-330. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n2/v5n2a13.pdf>
- Sifuentes, I. E., Ojeda, B. W., Macias, C. J., Mendoza, P. C., & Preciado, R. P. (2021). Déficit

- hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en rendimiento y eficiencia en el uso del agua. *Agrociencia*, 55(3), 209-226. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i3.2414>
- Shamsi, K., & Kobraee, S. (2011) Bread wheat production under drought stress conditions. *Annals of Biological Research* 2, 352-358. <http://scholarsresearchlibrary.com/ABR-vol2-iss3/ABR-2011-2-3-352-358.pdf>
- Thapa, S., Xue, Q., Jessup, K. E., Rudd, J. C., Liu, S. Y., Marek, T. H., Devkota, R. N., Baker, J. A., & Baker, S. (2019). Yield determination in winter wheat under different water regimes. *Field Crops Research*, 233(3), 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.018>
- UI, A. S., Iqbal, M., Maqsood, S., Naeem, M., Ijaz, M., Ashfaq, W., & Hussain, M. (2018). Improving the performance of bread wheat genotypes by managing irrigation and nitrogen under semi-arid conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(12), 1678-1689. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1450974>
- Valdés, V. C., Estrada, C. G., Martínez, R. C. G., & Domínguez, L. A. (2017). Rendimiento de grano en trigo modificado por cambios en la fuente durante el llenado de grano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 79-90. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342017000100079&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342017000100079&script=sci_arttext)
- Xu, X., Zhang, M., Li, J., Liu, Z., Zhao, Z., Zhang, Y., Zhou, S., & Wang, Z. (2018). Improving water use efficiency and grain yield of winter wheat by optimizing irrigations in the North China Plain. *Field Crops Research*. 221(5), 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.011>
- Zarazúa V. P., Ruiz C. J. A., González E. D. R., Flores L. H. E., & Ron P. J. (2011). Cambio climático y agroclimático para el ciclo otoño-invierno en la región Ciénega de Chapala. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2295-308. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200709342011000800010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342011000800010&lng=es&tlng=es)
- Zhou, B., Sanz, S. Á., Elazab, A., Shen, T., Sánchez, B. R., Bort, J., Serret, M. D., & Araus, J. L. (2014). Physiological traits contributed to the recent increase in yield potential of winter wheat from Henan Province, China. *Journal of integrative plant biology*, 56(5), 492-504. <https://doi.org/10.1111/jipb.12148>