

Efectos del yeso agrícola con micronutrientes en rendimiento y calidad del trigo harinero

José Luis Félix-Fuentes¹

Marco Antonio Gutiérrez-Coronado^{2,§}

1 Campo Experimental Norman E. Borlaug-INIFAP. Norman E. Borlaug km 12, Ciudad Obregón, Sonora, México. CP. 85000. C

2 Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de febrero 818, Ciudad Obregón, Sonora, México. CP. 85000.

Autor para correspondencia: mgutierrez@itson.edu.mx.

Resumen

El trigo es un cultivo que requiere grandes cantidades de fertilizante; sin embargo, su disponibilidad limita la productividad. En suelos alcalinos, nutrientes como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) presentan menor disponibilidad, lo que provoca deficiencias que se reflejan en el rendimiento y calidad del grano. Ante esta problemática, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2023-2024 se realizó un estudio en el Campo Experimental Norman E. Borlaug, ubicado en el Valle del Yaqui. Se evaluaron cinco tratamientos con diferentes dosis de yeso agrícola (25 y 50 kg ha⁻¹) enriquecido con micronutrientes (Fe, Cu, Zn y Mn), con y sin ácidos húmicos y fúlvicos, con el objetivo de determinar el efecto de la dosis óptima que contribuya a mejorar el rendimiento y calidad del trigo harinero Borlaug 100. El diseño experimental consistió en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas incluyeron: pH del suelo a diferentes profundidades, análisis nutrimental de la hoja bandera, componentes de rendimiento, y parámetros de calidad (proteína, índice de sedimentación, incidencia de panza blanca y carbón parcial). Los resultados mostraron que los tratamientos con la dosis alta de yeso agrícola y micronutrientes generaron una acidificación temporal del suelo hasta la etapa de encañe no mayor a 30 días, debido a un intercambio catiónico y generando un hidrólisis ácida que libera iones de hidrógeno, que contribuyeron indirectamente a una acidificación, lo que sugiere una mayor disponibilidad de nutrientes para el desarrollo del cultivo. Esto se tradujo en un incremento en los tratamientos 1 y 3 del 17% en el rendimiento respecto al testigo, con un aumento del 14% en el número de granos por espiga. Además, se obtuvieron valores de 11.6% de proteína, con menos del 0.5% de incidencia de panza blanca.

Palabras clave:

ácidos húmicos, fúlvicos, micronutrientes



Introducción

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el segundo alimento básico más importante en el mundo (Riaz *et al.*, 2021). Durante el ciclo agrícola 2023-2024, en el sur de Sonora se establecieron 248 122 ha (SIAP, 2024), lo que representó el 51% de la superficie nacional. Sin embargo, la productividad se ha visto comprometida por una serie de factores, entre los cuales destacan la calidad del agua y el suelo, así como la disponibilidad de nutrimentos esenciales (Martínez-Cruz *et al.*, 2020).

Los elementos esenciales para el metabolismo de las plantas se clasifican en función de su concentración y de los requerimientos necesarios para el crecimiento y la reproducción. De esta manera, se dividen en macro y micronutrimentos (Marschner, 2012). La deficiencia de cualquiera de ellos en el suelo es un factor clave que impacta negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas. Entre los micronutrimentos esenciales se encuentran el hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn), todos ellos involucrados en procesos metabólicos vitales. Sin embargo, la disponibilidad de estos elementos en el suelo y su correcta asimilación por las plantas pueden verse limitadas por diversas causas, lo que repercute en la productividad agrícola (Días dos Santos *et al.*, 2021).

El uso de enmiendas y fertilizantes específicos puede ser una estrategia viable para mejorar la fertilidad del suelo y, por ende, contribuir a mejorar parámetros como la biomasa (Osorio-Vera *et al.*, 2021). El yeso agrícola, conocido químicamente como sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), se ha consolidado como una enmienda que mejora las condiciones del suelo y contribuye al desarrollo de raíces (Bartzen *et al.*, 2020). Por otra parte, los suelos con pH moderadamente ácidos permiten el desarrollo de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV) (Shah *et al.*, 2021). El yeso agrícola también contribuye a la aportación de calcio (Ca) y azufre (S) en forma de sulfatos esenciales para las plantas (Rojas-Padilla *et al.*, 2022).

Abbas *et al.* (2023) establecen que el yeso agrícola incrementa la adsorción de nutrientes al mejorar la textura y la estructura del suelo. De Cori *et al.* (2010) señalan que el S es un 'elemento estructural' en la nutrición de las plantas, ya que forma parte de compuestos como aminoácidos y fosfolípidos. Por su parte, Nardi *et al.* (2021) destacan que los ácidos húmicos contribuyen a normalizar el metabolismo y los procesos involucrados en la fotosíntesis y la respiración, favoreciendo el desarrollo y crecimiento vegetal. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la dosis óptima que contribuya a mejorar el rendimiento y calidad del trigo harinero Borlaug 100.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo durante el ciclo agrícola 2023-2024, dentro de las instalaciones del Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El CENEB se localiza en el block 910 del Valle del Yaqui, Sonora, México. en las coordenadas 27° 22' 14.40" de latitud norte y 109° 55' 18.14" de longitud oeste, a 40 msnm.

La siembra se realizó el 6 de diciembre de 2023, con la variedad Borlaug 100, con una densidad de 90 kg ha⁻¹. Se sembró en seco, a tres centímetros de profundidad, en doble hilera en surcos de 85 cm de separación. Se realizó un análisis de suelo previo al experimento y determino que es un suelo de textura arcillosa, pH de 7.72 con una conductividad eléctrica de 2.6 dS m⁻¹, con una aportación de 50 kg ha⁻¹ de N-NO₃ y 84.99 kg ha⁻¹ de P-PO₄. Se fertilizó con 180 kg de nitrógeno, utilizando como fuente la urea. fraccionada a la mitad y aplicado en banda en los dos primeros riegos de auxilio.

Los riegos se realizaron en la etapa de encañe (z3.1), después del embuche (z3.9) y el tercero en espigamiento (z5.5), utilizando la escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974). Para el control de malezas de hoja ancha se aplicó mesosulfurón metil + Iodosulfurón metil sódico, mientras que para malezas de hoja angosta se utilizó tritosulfurón + dicamba. Para el control del pulgón del trigo (*Schizaphis graminum*), se aplicaron sulfoximinas y piretroides.

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. El tamaño de cada unidad experimental fue de cuatro surcos de 10 m de largo, empleando 10 plantas marcadas en la parte central de la parcela. Cada bloque estuvo separado por un metro de calle y un surco libre para delimitar los tratamientos. Se realizó un análisis de varianza, con el objetivo de evaluar el efecto de los tratamientos. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey HSD al 95% de confianza. El análisis se llevó a cabo utilizando RStudio (Team, 2023).

Los tratamientos (Cuadro 1) se aplicaron por única ocasión al momento de la siembra, en banda sobre el talud del surco, previo al riego de nacencia. Además, se realizaron dos aplicaciones de microorganismos (*Trichoderma harzianum*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus*) a una concentración de 1×10^8 UFC/ml, en el inicio del amacollamiento y al inicio del encañe.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados a la variedad de trigo *Borlaug 100 durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2023-2024.

Tratamientos	Descripción
1	50 kg ha ⁻¹ de yeso agrícola con micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn)
2	25 kg ha ⁻¹ de yeso agrícola con micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn)
3	50 kg ha ⁻¹ de yeso agrícola con micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn) + ácidos húmicos y fúlvicos
4	25 kg ha ⁻¹ de yeso agrícola con micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn) + ácidos húmicos y fúlvicos
5	Testigo sin aplicación

*= Campo Experimental Norman E. Borlaug, ubicado en el Valle del Yaqui.

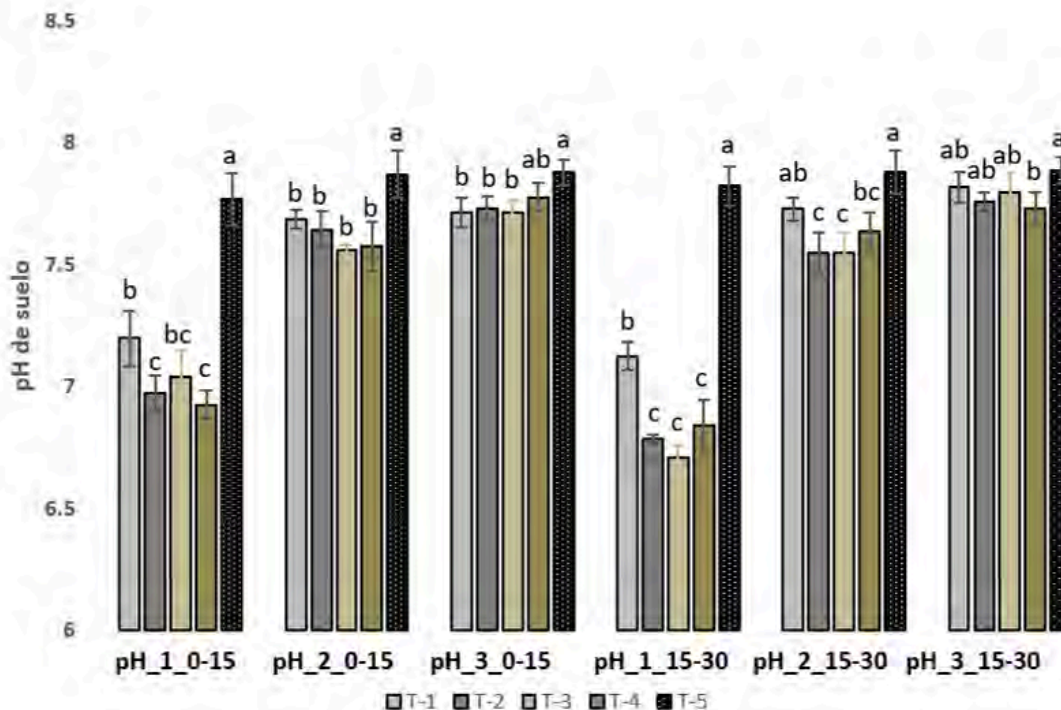
Las variables evaluadas fueron: pH de suelo a 15 y 30 cm cada siete días hasta la estabilidad del pH con un medidor de pH suelos Hanna Hi981030, análisis nutrimental en hoja bandera (Alcantar y Sandoval, 1999) en etapa de inicio de llenado de grano, componentes de rendimiento (número de espigas m⁻² (NGE), longitud de la espiga (LE), peso de espiga (PE), granos/espiga, longitud del grano (LG), peso de mil granos, peso hectolitrico (PH), rendimiento total (R) proteína con el analizador Perten Instruments, DA 7250 NIR, índice de sedimentación mediante la técnica SDS (Peña *et al.*, 1990), (%) de panza blanca y carbón parcial mediante análisis visual.

Resultados y discusión

En la variable de pH del suelo, en los perfiles de 0-15 y 15-30 cm de profundidad en los tres muestreos se encontró diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.01$ y 0.001) (Figura 1). Esto es debido a que los cationes (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+}) reaccionan con el agua en un proceso llamado hidrólisis ácida, liberando iones hidrógeno que acidifican el suelo. Los valores más bajos en promedio se identificaron con las dosis de 25 kg ha⁻¹ de yeso agrícola con micronutrientes, registrando valores de pH de 6.7, lo que facilitó la absorción de nutrientes.



Figura 1. Efecto de la aplicación de yeso agrícola con micronutrientes (Fe, Cu, Zn y Mn) ácidos húmicos y fúlvicos en el pH del suelo, durante el ciclo agrícola 2023-2024. 0-15 perfil de profundidad de 0 a 15 cm; 15-30 perfil de profundidad de 15 a 30 cm. Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos.



El pH inicial del suelo estuvo acompañado por una conductividad eléctrica de 2.6 dS m^{-1} , lo que lo clasifica como ligeramente salino. Basado en lo anterior, este nivel de salinidad puede dificultar la absorción de nutrientes, lo cual se confirmó mediante el análisis nutricional en la hoja bandera. El testigo fue el tratamiento que presentó los niveles más bajos de micronutrientes, de acuerdo con las tablas de rangos de suficiencia de cultivos agronómicos de Bryson y Mills (2014).

Esto es similar a lo señalado por Ramírez *et al.* (2022), quienes resaltaron la importancia de la conductividad eléctrica como un indicador que puede proporcionar información básica sobre la asimilación de nutrientes en los cultivos. Este planteamiento coincide con lo observado en el tratamiento 5, donde los valores de pH se mantuvieron constantes de inicio a fin de la evaluación, afectando la disponibilidad de nutrientes.

Por su parte, Arroyo *et al.* (2022) mencionan que, cuando los niveles de pH del suelo son elevados, la accesibilidad de la mayoría de los nutrientes se ve comprometida. Además, Tóth *et al.* (2020) revelaron que el pH ácido del suelo impacta de manera notable la actividad antioxidante en el trigo, lo cual afecta de forma adversa la fase de llenado del grano, conduciendo a una disminución en el rendimiento final. Por ello, es fundamental mantener un equilibrio en el pH del suelo que permita una adecuada toma de nutrientes.

El yeso agrícola con micronutrientes baja de manera temporal el pH del suelo por un lapso corto de tiempo. En este trabajo, se pudo observar este efecto hasta el principio de encañe, lo que puede permitir que el cultivo de trigo absorba los nutrientes del suelo. El pH ideal para la mayoría de los cultivos oscila entre 6 y 7, ya que en este rango la mayoría de los nutrientes esenciales están disponibles en cantidades adecuadas. Sin embargo, algunos tienen rangos específicos de disponibilidad.

En los resultados del análisis nutrimental, el Fe, Cu y Zn se incrementaron hasta en un 24%, 35% y 44%, respectivamente, en los tratamientos con una mayor dosis de yeso agrícola, con o sin ácidos húmicos y fúlvicos, en comparación con el testigo. El Zn fue uno de los elementos que presentó el porcentaje más alto en el tejido vegetal. Esto coincide con Osorio-Vera *et al.* (2021) comentan que el cultivo de trigo presentó una alta demanda de este elemento para alcanzar altos rendimientos.

Los tratamientos de yeso agrícola con ácidos húmicos y fúlvicos incrementaron entre un 45% y 50% los niveles de Mn respecto al testigo. Una vez que este elemento está en la planta, puede persistir por tiempos prolongados, llevando a cabo distintas funciones metabólicas, lo que se atribuye a la baja movilidad que presenta, como lo señalaron Riesen y Feller (2005).

El análisis foliar (Cuadro 2), concuerda con Bryson y Mills (2014), ambos indican que los suelos con un pH entre 5 y 7 presentan niveles más altos de Fe soluble. Asimismo, indican que la disponibilidad de P disminuyó a medida que el pH supera 7, esta reducción está asociada con la interacción del P con mayores niveles de Ca y Mg disponibles en suelos de pH elevado. Por su parte, De Oliveira *et al.* (2020) señalan que la mayoría de los cultivos aprovechan de manera poco eficiente el fertilizante nitrogenado, y que el uso excesivo de fertilización suele emplearse como medida preventiva contra posibles deficiencias.

Cuadro 2. Análisis nutrimental foliar en etapa de llenado de grano de la variedad de trigo harinero Borlaug 100, durante el ciclo agrícola 2023-2024.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mn	Mg	Fe	Cu	Zn
	(%)						(ppm)		
1*	3.82	0.2	1.7	0.77	0.22	248.2	6.5	22.8	243.2
2*	3.36	0.2	1.58	0.75	0.19	225.7	6.1	22.4	275.2
3*	3.41	0.21	1.6	0.89	0.22	260.3	6.9	22.6	311.1
4*	3.38	0.22	1.57	0.77	0.2	231	6.3	21	324.1
5*	3.18	0.18	1.18	0.65	0.16	209.9	5.1	15.7	214

1*= 50 kg ha⁻¹ de yeso agrícola con micronutrientos (Fe, Cu, Zn, Mn); 2*= 25 kg ha⁻¹ de yeso agrícola con micronutrientos (Fe, Cu, Zn, Mn); 3*= 50 kg ha⁻¹ de yeso agrícola con micronutrientos (Fe, Cu, Zn, Mn) + ácidos húmicos y fúlvicos; 4*= 25 kg ha⁻¹ de yeso agrícola con micronutrientos (Fe, Cu, Zn, Mn) + ácidos húmicos y fúlvicos; 5*= testigo sin aplicación.

En este trabajo, la fertilización nitrogenada se realizó con base en un análisis de suelo, siendo el tratamiento de 50 kg ha⁻¹ de yeso agrícola sin ácidos húmicos y fúlvicos el que aumentó hasta un 22% el contenido de N en el tejido vegetal. No obstante, estos niveles de N están por encima de lo que establecen Bryson y Mills (2014) como rango de suficiencia para el cultivo de trigo.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de las variables de componentes de rendimiento evaluadas en este trabajo. El promedio de LE ($p < 0.01$) del T-3 superó al testigo en un 3.5% e incrementó hasta en un 14% el NGE con una diferencia significativa ($p < 0.001$) Esta variable es el componente principal de las variaciones que se presentan en el rendimiento, lo cual concuerda con Philipp *et al.* (2018), quienes reportaron correlaciones altas y positivas entre estas variables.

Cuadro 3. componentes de rendimiento de la variedad de trigo harinero Borlaug 100 establecida en el valle del yaqui durante el ciclo agrícola 2023-2024.

Tratamientos	LE	PE	NGE	PGE	LG	PH	PMG	R
1	10.79a	5.01a	63.82a	3.59a	0.69a	80.5a	56.5a	8a
2	10.07b	4.5c	58.65b	3.47a	0.69a	80.5a	56.7a	7.4ab
3	10.88a	4.89ab	65.25a	3.53a	0.7a	80.4a	56a	7.9a
4	10.56ab	4.52bc	57.12b	3.59a	0.7a	80.4a	57.2a	7.8ab
5	10.51ab	4.23c	57.17b	3.25a	0.7a	80.4a	56a	6.5b

LE= longitud de espiga (cm) $p < 0.01$; PE= peso de espigas (g) $p < 0.001$; NGE= número de grano/espiga $p < 0.001$; PGE= peso de granos/espiga (g); LG= longitud de grano (cm), PH= peso hectolitrico (kg hl⁻¹), PMG= peso de mil granos (g); R=rendimiento (t ha⁻¹) $p < 0.05$. Medias con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferente de acuerdo con la prueba de Tukey.

Por otro lado, Feng *et al.* (2018) resaltan que el PMG tiene el efecto más alto sobre el rendimiento, solo después del NGE. Sin embargo, en el PMG, no obtuvimos diferencias significativas entre los distintos tratamientos. Villaseñor-Mir *et al.* (2021), al momento de la liberación de la variedad Bacorehuis F2015, utilizaron como testigos a Borlaug 100 y Kronstad F2004, obteniendo valores de 75 kg hl^{-1} en las tres variedades, un 7% menos en comparación con los resultados logrados con la aplicación de yeso agrícola. En la variable PMG, Chávez-Villalba *et al.* (2021) reportaron, en la misma localidad, valores 4 g inferiores al testigo, el cual presentó los valores más bajos en la mayoría de las variables relacionadas con los componentes de rendimiento.

La densidad de espigas y granos por m^2 constituyó el parámetro más confiable para evaluar el desempeño agronómico de los materiales (Espitia-Rangel *et al.*, 2021). En la presente investigación, dichos componentes demostraron alta sensibilidad a las prácticas de manejo, lo que se tradujo directamente en el rendimiento final. Los análisis estadísticos revelaron variaciones significativas entre tratamientos, destacándose un aumento del 23% con la aplicación máxima de yeso agrícola con micronutrientes. Estos mismos esquemas de fertilización registraron las concentraciones más elevadas de macro y micronutrientes en el tejido foliar.

Otro estudio como el de Singh *et al.* (2021) evidenciaron que un balance nutricional adecuado potencia tanto la absorción como la eficiencia de uso de los elementos esenciales. Complementariamente, Buenrostro-Rodríguez *et al.* (2024) identificaron que $240 \text{ kg de N ha}^{-1}$ representan el umbral óptimo para maximizar la productividad, según sus curvas de respuesta. Tsvey *et al.* (2021) enfatizan que, pese a ser uno de los nutrientes más demandados, la baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo limita frecuentemente su aprovechamiento por el cultivo.

La publicación de Yuan *et al.* (2021) aportó que la fertilizante moderada a base de potasio (K) puede ser una práctica efectiva para mejorar la productividad del cultivo de trigo. De acuerdo con esto, Mazur *et al.* (2022) indicaron que el contenido de K y magnesio (Mg) tiene un fuerte efecto positivo en el rendimiento, lo cual coincide con los resultados obtenidos en los tratamientos tres y cuatro.

En la variable proteína, se obtuvo diferencias significativas ($p \leq 0.05$), con promedios que oscilaron entre 11.65% y 11.2%, siendo los tratamientos 1 y 2 los que presentaron la mejor calidad. Se observó una relación positiva entre el contenido de proteína y el rendimiento que estuvo influenciado por la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Nigro *et al.* (2019) nos remarcen que existe una correlación negativa entre el rendimiento de grano y la proteína; es decir, que los trigos más productivos expresan un menor contenido de proteína en el grano. En este sentido los resultados de Giancaspro *et al.* (2019) sugieren que el contenido de proteína es un rasgo de baja expresión genética, el cual está influenciado por condiciones ambientales. Esto lo han observado con mayor frecuencia en los trigos de ciclo temprano y tardío (Trivisoli *et al.*, 2024).

El desarrollo del grano de trigo depende principalmente del proceso de síntesis y acumulación de almidón (Liu *et al.*, 2019; Xiao *et al.*, 2022). Este último tiene el mayor efecto sobre el peso y el rendimiento del grano. En algunas ocasiones, el grano no presenta la calidad adecuada debido a un alto porcentaje de 'panza blanca' (manchas de aspecto almidonoso). En esta variable, los valores estuvieron entre 0.36% y 0.56% esto se debe a que la planta no tuvo mayores necesidades de absorción de N lo que generó un equilibrio entre la proteína y el rendimiento, lo que se reflejó en los análisis foliares.

En la variable de incidencia de carbón parcial no se encontró diferencia significativa entre tratamientos a pesar de la susceptibilidad de la variedad. Por otra parte, en el índice de sedimentación se obtuvieron valores de 22.62 a 23.37 ml; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas. Moreno-Araiza *et al.* (2020) señalan que este índice está relacionado con la calidad de la proteína y a su vez, con un mayor volumen de pan. Además, indican que, cuando no se realiza la prueba definitiva de panificación, es necesario evaluar ambos indicadores.

En este estudio, la relación sedimentación/proteína de los distintos tratamientos estuvieron de 1.97 a 2.06, lo que denota una excelente calidad panadera, e indica un balance ideal entre la concentración y la funcionalidad de las proteínas del gluten (Peña *et al.*, 1990).

Conclusiones

El uso del yeso agrícola con micronutrientes puede llegar a ser una opción para suelos alcalinos, ya que provocó una acidez temporal por un periodo no mayor a treinta días desde el momento de su aplicación, debido a la presencia de los sulfatos. Estos generan una hidrólisis ácida que libera iones de hidrógeno y disminuye el pH del suelo. Un pH ligeramente ácido facilita a la planta la absorción de nutrientes, por lo que una nutrición adecuada en el cultivo de trigo puede generar un incremento en el rendimiento y en la calidad del grano.

El tratamiento que mejor respondió a la absorción de nutrientes, observado en la etapa de llenado de grano, fue el que contenía la dosis de 50 kg ha⁻¹ de yeso agrícola con Fe, Cu, Zn y Mn. Este incrementó el rendimiento, principalmente en la longitud, peso y número de granos por espiga. Sin embargo, la mejor calidad del grano se obtuvo en aquellos tratamientos que no incluyen ácidos húmicos y fúlvicos.

Bibliografía

- 1 Abbas, F.; Siddique, T.; Fan, R. and Azeem, M. 2023. Role of gypsum in conserving soil moisture macronutrients uptake and improving wheat yield in the rainfed area. *Water*. 15(6):1-13. <https://doi.org/10.3390/w15061011>.
- 2 Alcantar, G. G. y Sandoval, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo, A.C. Publicación especial núm. 10. 156 p.
- 3 Arroyo, E. A.; Sanzano, A.; Rojas-Quinteros, H. C. y Navarro-Marco, J. P. 2022. Estado de fertilidad de los suelos cañeros de Tucumán, Argentina: materia orgánica, nitrógeno y pH del suelo. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*. 99(1):37-42. <https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S185130182022000100005&lng=es&tlng=es>.
- 4 Bartzen, B. T.; Oliveira, P. S. R.; Seidel, G. O.; Hoelscher, G. L. y Piano, J. T. 2020. Resposta do trigo e soja após a aplicação de doses de gesso agrícola. *Acta Iguazu*. 9(3):113-123. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v9i3.24834>.
- 5 Bryson, G. M. and Mills, H. A. 2014. Plant analysis handbook IV. 4ta. Ed. United States: MicroMacro Publishing. 305 p. ISBN: 978-1-878148-03-2.
- 6 Buenrostro-Rodríguez, J. F.; Gámez-Vázquez, A. J.; Solís-Moya, E.; Covarrubias-Prieto, J.; Ledesma-Ramírez, L.; Mandujano-Bueno, A. y Cisneros-López, H. C. 2024. Efecto del nitrógeno sobre rendimiento y calidad de semilla de trigo en el Bajío, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 47(2):109-114. <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.2.109>.
- 7 De Cori, C. E. C.; Ruiz, M.; Aular, L. M.; Mora, R.; Castillo, L.; Arrieche, I. E.; Díaz, T.; Fernández, S.; Noguera, R.; Martínez, A. y Tovar, M. R. 2010. Un método turbidimétrico para determinar azufre en fertilizantes inorgánicos. *Venesuelos*, 18(1):6-15.
- 8 De Oliveira S. A.; Ciampitti, I. A.; Slafer, G. A. and Lollato, R. P. 2020. Nitrogen utilization efficiency in wheat: a global perspective. *European Journal of Agronomy*. 114(20):1-14. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126008>.
- 9 Días dos Santos, F.; Aparecida-Fantinel, R.; Broetto-Weiler, E. y Cabral-Cruz, J. 2021. Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. *Tecnológica*. 25(2):272-278. <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v25i2.15552>.
- 10 Espitia-Rangel, E.; Martínez-Cruz, E.; Villaseñor-Mir, H. E.; Hortelano-Santa, R.; Limón-Ortega, A. y Lozano-Grande, 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>.
- 11 Feng, F.; Han, Y.; Wang, S.; Yin, S.; Peng, Z.; Zhou, M. and Siddique, K. H. 2018. The effect of grain position on genetic improvement of grain number and thousand grain weight in

- winter wheat in North China. *Frontiers in Plant Science*. 9(129):1-9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00129>.
- 12 Giancaspro, A.; Giove, S. L.; Zacheo, S. A.; Blanco, A. and Gadaleta, A. 2019. Genetic variation for protein content and yield-related traits in a durum population derived from an inter-specific cross between hexaploid and tetraploid wheat cultivars. *Frontiers in Plant Science*. 10(1509):1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01509>.
- 13 Liu, L.; Ji, H.; An, J.; Shi, K.; Ma, J. y Liu, B. 2019. Respuesta de la acumulación de biomasa en trigo al estrés por bajas temperaturas en las etapas de unión y arranque. *Medio Ambiente. Exp. Bot.* 157(19):46-57. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.09.026>.
- 14 Marschner, P. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd Ed. Academic Press. 191-248 pp.
- 15 Martínez-Cruz, E.; Espitia-Rangel, E.; Villaseñor-Mir, H. E. y Hortelano-Santa, 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>.
- 16 Mazur, P.; Gozdowski, D. and Wnuk, A. 2022. Relationships between soil electrical conductivity and sentinel 2 derived NDVI with pH and content of selected nutrients. *Agronomy*. 12(2):1-17. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020354>.
- 17 Moreno-Araiza, O.; Torres-Chávez, P. I.; Ramírez-Wong, B.; Magaña-Barajas, E.; Montañón-Leyva, B.; Medina-Rodríguez, C. L. y Delgado-Rodríguez, J. 2020. Calidad proteica en las fracciones de molienda de rodillos de trigo (*T. aestivum*) a nivel comercial. *Biotecnia*. 22(3):53-60. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1201>.
- 18 Nardi, S.; Schiavon, M. and Francioso, O. 2021. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*. 26(8):1-20. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>.
- 19 Nigro, D.; Gadaleta, A.; Mangini, G.; Colasuonno, P.; Marcotuli, I.; Giancaspro, A. and Blanco, A. 2019. Candidate genes and genome-wide association study of grain protein content and protein deviation in durum wheat. *Planta*. 249(19):1157-1175. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-03075-1>.
- 20 Osorio-Vera, L. R.; Rasche-Álvarez, J. W.; González-Blanco, A. N.; Leguizamón-Rojas, C. A. y Fatecha-Fois, D. A. 2021. Fertilización con zinc en trigo, maíz y sésamo en suelos de diferentes texturas. *Investigación Agraria*. 23(2):53-62. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2021.diciembre.2302691>.
- 21 Peña, R. J. 1990. Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *J. Cereal Sci.* 12(2):105-112.
- 22 Philipp, N.; Weichert, H.; Bohra, U.; Weschke, W.; Schulthess, A. W. and Weber, H. 2018. Grain number and grain yield distribution along the spike remain stable despite breeding for high yield in winter wheat. *PloS one*. 13(10):1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205452>.
- 23 Ramírez, A. F. V.; Ramírez, I. M. y Arroyave, A. F. 2022. Relación entre el pH y las mediciones de conductividad eléctrica en un suelo cultivable ubicado en Medellín, Colombia. *Ingenierías USBMed*. 13(2):56-62. <http://doi.org/10.21500/20275846.4706>.
- 24 Riaz, M. W.; Yang, L.; Yousaf, M. I.; Sami, A.; Mei, X. D.; Shah, L.; Rehman, S.; Xue, L.; Si, H. and Ma, C. 2021. Efectos del estrés térmico en el crecimiento, la fisiología de las plantas, el rendimiento y la calidad del grano de diferentes trigos de primavera (*Triticum aestivum* L.) Genotipos. *Sostenibilidad*. 13 (5):1-18. <https://doi.org/10.3390/su13052972>.
- 25 Riesen, O. and Feller, U. 2005. Redistribution of nickel, cobalt, manganese, zinc, and cadmium via the phloem in young and maturing wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 28(3):421-430. <https://doi.org/10.1081/PLN-200049153>.

- 26 Rojas-Padilla, J.; De-Bashan, L. E.; Parra-Cota, F. I.; Rocha-Estrada, J. and de los Santos-Villalobos, S. 2022. Microencapsulation of bacillus strains for improving wheat (*Triticum turgidum* subsp. durum) growth and development. *Plants*. 11(21):1-15. <https://doi.org/10.3390/plants11212920>.
- 27 Shah, A.; Nazari, M.; Antar, M.; Msimbira, L. A.; Naamala, J.; Lyu, D.; Rabileh, M.; Zajonc, J. and Smith, D. L. 2021. PGPR in agriculture: a sustainable approach to. 12(23):1-22. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.667546>.
- 28 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción anual agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
- 29 Singh, P.; Benbi, D. K. and Verma, G. 2021. Nutrient management impacts on nutrient use efficiency and energy, carbon, and net ecosystem economic budget of a rice-wheat cropping system in Northwestern India. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21(1):559-577. Doi: 10.1007/s42729-020-00383-y.
- 30 Team, R. 2023. RStudio: integrated development environment for R. Boston, MA. RStudio, PBC. 2020.
- 31 Tóth, B.; Juhász, C.; Labuschagne, M. and Moloi, M. J. 2020. The influence of soil acidity on the physiological responses of two bread wheat cultivars. *Plants*. 9 (11):1-13. <https://doi.org/10.3390/plants9111472>.
- 32 Trivisoli, V. S.; Cargnelutti-Filho, A.; Facco, G. and Loro, M. V. 2024. Partial correlations between production traits and grain protein in wheat. *Revista Caatinga*. 37(24):1-7. <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v37i2312rc>.
- 33 Tsvey, Y.; Ivanina, R.; Ivanina, V. y Senchuk, S. 2021. Rendimiento y calidad del grano de trigo de invierno (*Triticum aestivum* L.) en relación con la fertilización nitrogenada. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 74(1):9413-9422. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n1.88835>.
- 34 Villaseñor-Mir, H. E.; Huerta-Espino, J.; Hortelano-Santa, R.; Martínez-Cruz, E.; Rodríguez-García, M. F.; Solís-Moya, E. and Martínez-Medina, J. 2021. Bacorehuis F2015, nueva variedad de trigo harinero para áreas de riego en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 44(4):693-695. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.693>.
- 35 Xiao, L.; Asseng, S.; Wang, X.; Xia, J. Zhang, P. y Liu, L. 2022. Simulación de los efectos del estrés por bajas temperaturas en el crecimiento y rendimiento de la biomasa de trigo. *Agric. For. Meteorol.* 326(22)109191. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109191>.
- 36 Yuan, G.; Huan, W.; Song, H.; Lu, D.; Chen, X.; Wang, H. and Zhou, J. 2021. Effects of straw incorporation and potassium fertilizer on crop yields, soil organic carbon, and active carbon in the rice wheat system. *Soil and Tillage Research*. 209:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104958>.
- 37 Zadoks, J. C.; Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*. 14(6):415-421.



Efectos del yeso agrícola con micronutrientes en rendimiento y calidad del trigo harinero

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 1 August 2025
Date accepted: 1 October 2025
Publication date: 6 December 2025
Publication date: Nov-Dec 2025
Volume: 16
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e3910
DOI: 10.29312/remexca.v16i8.3910

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

ácidos húmicos

fúlvicos

micronutrientes

Counts

Figures: 1

Tables: 3

Equations: 0

References: 37