



El uso de hidrogel reduce el estrés hídrico y mejora el rendimiento en el cultivo de maíz morado

The use of hydrogel reduces water stress and improves yield in the cultivation of purple corn

Luisa Álvarez-Benaute^{1*}; Agustina Valverde-Rodríguez¹; Henry Briceño-Yen¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Av. Universitaria 601-607, Pillco Marca, Huánuco, Perú.

* Autor corresponsal: lalvarez@unheval.edu.pe (L. Álvarez-Benaute).

ID ORCID de los autores:

L. Álvarez-Benaute:  <https://orcid.org/0000-0001-6961-9870> A. Valverde-Rodríguez:  <https://orcid.org/0000-0003-1522-4827>

H. Briceño-Yen:  <https://orcid.org/0000-0002-0629-3014>

RESUMEN

Uno de los problemas de la agricultura en la actualidad es la escasez del agua disponible para los cultivos. El objetivo de la investigación fue evaluar el uso de un hidrogel (plantagel con una composición de 96% de poliacrilato de potasio no tóxico) en el estrés hídrico del cultivo de maíz morado PMV-581 y evaluar su desarrollo y rendimiento. Los tratamientos fueron a tres dosis de 50, 70, 90 kg ha⁻¹ de hidrogel (plantagel) y un testigo sin aplicación de hidrogel, los resultados indican el tratamiento control T0. Requiere el mayor número de riegos (con 15 riegos y sin aplicación de hidrogel) el tratamiento T1 (con 12 riegos y 50 kg ha⁻¹ de hidrogel), el T2 (con 10 riegos y 70 kg ha⁻¹ de hidrogel) y el T3 (con 8 riegos y 90 kg ha⁻¹ de hidrogel) el T3 obtuvo el rendimiento más alto de 6,50 t ha⁻¹, con una lámina de agua de 1500,84 m³, menor al resto de tratamientos, concluyéndose que el hidrogel influye en la retención de humedad del suelo y su efecto se expresa en el rendimiento del maíz morado. Estos resultados proporcionan información valiosa que el uso del hidrogel (plantagel) podría aplicarse eficazmente como aditivo del suelo para aliviar el estrés por sequía en el cultivo de maíz morado.

Palabras clave: Plantagel; retención de humedad; liberación sostenida de agua; rendimiento.

ABSTRACT

One of the problems in agriculture today is the scarcity of water available for crops. The aim of the research was to evaluate the use of a hydrogel (plantagel with a composition of 96% non-toxic potassium polyacrylate) in the water stress of the PMV-581 purple corn crop and evaluate its development and performance. The treatments were at three doses of 50, 70, 90 kg ha⁻¹ of hydrogel (plantagel) and a control without hydrogel application, the results indicate the T0 control treatment. Treatment T1 (with 12 irrigations and 50 kg ha⁻¹ of hydrogel) and T2 (with 10 irrigations and 70 kg ha⁻¹ of hydrogel) require the greatest number of irrigations (with 15 irrigations and without hydrogel application) and T3 (with 8 irrigations and 90 kg ha⁻¹ of hydrogel) T3 obtained the highest yield of 6.50 t ha⁻¹, with a water table of 1500.84 m³, lower than the rest of the treatments, concluding that the Hydrogel influences soil moisture retention and its effect is expressed in the yield of purple corn. These results provide valuable information that the use of hydrogel (plantagel) could be effectively applied as a soil additive to alleviate drought stress in purple corn cultivation.

Keywords: Plantagel; moisture retention; sustained water release; performance.

Recibido: 19-07-2023.

Aceptado: 18-11-2023



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, el aumento del cambio climático ha generado una mayor urgencia en el uso responsable de los recursos hídrico (Consoli et al., 2017). La sequía causa más pérdidas anuales en el sector agrícola que todos los patógenos de cultivos combinados (Gupta et al., 2020). El uso excesivo de agua a través de un sistema de riego por gravedad, lo cual resulta en una pérdida significativa de volúmenes de agua. Además, hay pérdidas adicionales debido a varios factores del suelo. Una posible solución al estrés por sequía es la enmienda del suelo, que mejora su capacidad de retención de agua y nutrientes y reduce la percolación de agua, reduciendo así las dosis de riego y mejorando el crecimiento de las plantas (Saha et al., 2020).

Los hidrogeles son polímeros hidrófilos que están químicamente estabilizados en una estructura de red tridimensional (Fawzy & Gomaa, 2021; Liu et al., 2023).

En vista de esta situación es necesario mejorar la eficiencia en la gestión de este recurso mediante la implementación de alternativas de manejo adecuadas (Iglesias, 2015). Una alternativa es el uso de hidrogel que por su naturaleza de ser un polímero hidro-absorbente, tienen la capacidad de retener de 100 a 400 veces más de su peso y esto depende de la calidad de agua (Elizondo et al., 2021). Los hidrogeles desempeñan un papel vital en el sector agrícola y se utilizan como materiales estructurales para crear un clima propicio para el crecimiento de las plantas y aumentar la eficiencia del agua de riego (Dehkordi, 2017). La aplicación de hidrogel al suelo ayuda retener más humedad en el contenido del suelo, mejoró la capacidad de retención de agua, disminuyó la tasa de infiltración del suelo y formó una capa protectora en las plantas bajo condiciones de estrés abiótico (Dehkordi, 2017). Los grupos funcionales hidrofílicos adheridos al esqueleto polimérico permiten que los hidrogeles absorban agua (Ahmet, 2015; Torres et al., 2020). Las ventajas en el uso del hidrogel es que absorbe agua y lo mantiene disponible para las plantas en un tiempo promedio de 30

días y favorece significativamente el crecimiento de los cultivos en regiones con escasas lluvias (Hernández, 2020), reduce la compactación de los suelos y reduce el número de riegos (Guo et al., 2020).

En estos últimos años se está convirtiendo en un producto indispensable en diferentes tipos de cultivos, el hidrogel podría ayudar a mantener el agua durante más tiempo en el suelo para aumentar el crecimiento de las plantas y mejorar la tolerancia a la sequía (Ammar et al., 2022). Ayuda al mejoramiento del suelo y controla la cantidad de agua utilizada en cada riego mejorando el desarrollo y crecimiento vegetativo de cada cultivo (Delgado, 2010; Vicuña, 2018).

En Perú la demanda por agua de riego se incrementa debido a muchos factores pero además del mal uso de dicho recurso y la escasa disponibilidad sumándose a ello el sistema de riego por gravedad utilizado mayormente; se hace necesario buscar y plantear alternativas para un adecuado manejo de dicho recurso con el propósito de que se efectúe un mejor uso y aprovechamiento del agua y responda a las necesidades del productor incrementando sus rendimientos por área y evidentemente sus ingresos (Fernández et al., 2012).

En la región de Huánuco el cultivo de maíz morado es de vital importancia como un producto agronómico en las zonas donde se siembra debido a los múltiples usos y beneficios que le otorga al productor, pero que la escasez del recurso agua se está incrementando.

Ante este escenario es necesario buscar alternativas y plantear estrategias para un adecuado manejo del recurso hídrico que sean amigables con el medio ambiente y brinde beneficios al productor. Por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar un hidrogel (plantagel con una composición de 96% de poliacrilato de potasio no tóxico) en la reducción del estrés hídrico en el cultivo de maíz morado PMV-581 y evaluar su desarrollo y rendimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación

La investigación se realizó en el Centro de Investigación Frutícola y Olerícola de la UNHEVAL Huánuco; a una Altitud de 1947 m.s.n.m, presenta la siguiente posición geográfica Latitud: 09° 57' 07" Longitud: 76° 14' 54" y corresponde a una zona de vida

monte espinoso Pre Montano Tropical (me-PTM). Durante los meses de mayo a octubre del 2022. Se trabajó con el cultivo de maíz morado y se evaluaron las diferentes etapas como la preparación del suelo, instalación del cultivo, labores agronómicas, labores culturales, evaluaciones de campo, cosecha,

recopilación de datos y trabajo de gabinete. Se establecieron cuatro tratamientos y tres repeticiones que estuvieron bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), los tratamientos fueron: dosis baja a 50 kg ha⁻¹ (T1), dosis media 70 kg ha⁻¹ (T2) y dosis alta 90 kg ha⁻¹ (T3) y un testigo (T0).

El hidrogel empleado fue comercial de la marca plantagel cuyas características en la ficha técnica es en cristales de 5 -10 mesh en tamaño y de color blanco, 96% de porcentaje de poliacrilato de potasio, pH de 6,8 - 6,9, capacidad de retención de retención de agua de 372 ml/g, contenido de potasio de 11,5%, cantidad de monómeros de 420 ppm, cuando se mezcla con el agua forma una sustancia gelatinosa, no tóxicos al agua ni a la estructura del suelo.

Los parámetros evaluados fueron altura de planta, número de mazorca por planta, kilogramos por área neta experimental, rendimiento estimado por hectárea, número de riegos, agua aplicada. Los riegos estuvieron en función a la humedad del suelo y la cantidad de hidrogel aplicado. La cantidad de agua necesaria para el riego del maíz morado en distintas etapas de crecimiento (Tabla 1) se calculó utilizando la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el requerimiento de riego o lámina bruta de riego (RR) mediante la ecuación (Basso et al., 2016).

$$ETc = ETo \times kc \dots\dots (1)$$

Donde ETc: Evapotranspiración del cultivo; ETo: Evapotranspiración de referencia (ETo), depende solo del clima de la zona (Allen et al., 2006). Para el presente estudio se calculó con datos promediados reportados por la estación experimental de Cayhuayna ubicado en la universidad del año 2022. Para el caso actual se usó una evapotranspiración de 5,70 mm/día. Kc: Coeficiente único del cultivo.

Los coeficientes utilizados fueron descritos por Garay (2011) para el cultivo de trigo.

$$RR = ETc / \text{Eficiencia de riego} \times 100 \dots\dots (2)$$

Donde RR: Requerimiento de riego; ETc: evapotranspiración del cultivo.

La eficiencia de riego considerada fue de 50%. Se monitoreó la humedad del suelo después de los eventos de riego por tratamiento a los 10 días de cada evento a través de la extracción de agua de una muestra de suelo a 30 cm de profundidad.

La Tabla 1 muestra datos climatológicos llevados a cabo durante los meses de estudio de la investigación.

El contenido gravimétrico de agua CGA (%) se usó la siguiente fórmula (Castellanos, 2000):

$$CGA = \left(\frac{PSH - PSS}{PSS} \right) \times 100$$

Donde CGA: Contenido gravimétrico de agua; PSH: Peso suelo húmedo; PSS: Peso suelo seco.

Tabla 1

Precipitación, temperatura media diaria, ETO media diaria estimada y agua de riego suministrada al cultivo de maíz morado

MESES	T° min	T° max	T° media	Precipitación (mm)
JUN	11,8	27,3	19,6	15,6
JUL	12,4	27,8	20,1	6,0
AGO	13,0	27,0	20,0	11,0
SET	14,4	28,3	21,4	9,9
OCT	16,0	28,4	22,2	8,4

El contenido volumétrico de agua se calculó con la siguiente fórmula:

$$CVA = \left(\frac{Dap}{Da} \right) \times CGA$$

Donde CVA: Contenido Volumétrico Agua (%); Dap: Densidad aparente; Da: Densidad de agua. Bajo estas consideraciones se evidenciaron que el tratamiento control T0 requería más frecuencias de riego en comparación con los tratamientos que contenían hidrogel, mantenían la humedad del suelo por más tiempo. Para el proceso de instalación del cultivo de maíz morado se procedió según se observa en la Figura 1. Realizando las medidas correspondientes 1,6, 2,2 y 3,0 g por planta según los tratamientos establecidos.



Figura 1. Procedimiento de aplicación del hidrogel comercial al campo. a) plantagel, hidrogel comercial, b) medidas según tratamiento gramos por planta, c) hidrogel aplicado al campo, d) cultivo de maíz morado instalado.

El rendimiento del cultivo se obtuvo por el peso de mazorcas por planta y estimado a hectárea. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y aquellas que mostraron diferencias significativas mediante prueba de medias, según Duncan, usando el programa estadístico InfoStat versión 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Requerimiento de riego según programación

La modelación arroja un resultado de 859,1 mm por campaña correspondiente a la cantidad de agua como riego o precipitación Tabla 2; recurso que requiere el cultivo de maíz morado para compensar las pérdidas por la evapotranspiración, según los meses en estudio, obtenidos a través de los datos meteorológicos correspondientes a los meses en estudio.

Tabla 2
Requerimiento de riego según programación

Mes	Etap	Kc	ETc mm/día	Req.Riego mm/dec
Jun	Inic	0,55	3,15	31,5
Jun	Inic	0,55	3,11	31,1
Jun	Des	0,63	3,61	36,1
Jul	Des	0,77	4,49	44,9
Jul	Des	0,91	5,39	53,9
Jul	Des	1,06	6,39	70,3
Ago	Med	1,2	7,41	74,1
Ago	Med	1,25	7,87	78,7
Ago	Med	1,25	8,03	88,3
Sep	Med	1,25	8,19	81,9
Sep	Med	1,25	8,35	83,5
Sep	Fin	1,22	8,02	80,1
Oct	Fin	1,1	7,16	64,5
Oct	Fin	0,99	6,37	40,3
Total				859,1

Número de riegos según tratamiento

Se evaluaron en el estudio tres dosis de hidrogel una dosis baja T1 (50 kg ha⁻¹), media T2 (70 kg ha⁻¹) y alta T3 (90 kg ha⁻¹), T0 tratamiento control. Sometiéndose a un régimen de número de riegos y considerándose para ello la lámina de riego de la Tabla 2. El

tratamiento Control T0 obtuvo 15 riegos, el T1 con 12 riegos, T2 con 10 riegos y T3 con 8 riegos. Asimismo, en los tratamientos se realizaron previamente dos riegos base, antes de la siembra y posteriormente luego de la emergencia. Valores cercanos a lo reportado por en tanto Figueroa-Soliz et al. (2020) al evaluar diferentes niveles de hidrogel en el cultivo de pimiento para prolongar los periodos de riego, reportaron alta diferencia estadística, alcanzando los mayores rendimientos con los tratamientos de riegos cada 16 días con dos gramos por planta (40 kg ha⁻¹) de Hidrogel y riego cada 12 días con dos gramos por planta (40 kg ha⁻¹) de hidrogel, de 19845 y 17960 kg ha⁻¹ respectivamente. Como lo reporta Abobatta (2018) y Yan (2019), es decir, los hidrogeles sintéticos fueron efectivos para suministrar agua al maíz cultivado en condiciones de déficit hídrico. Informaron que el suelo superabsorbente aumentó significativamente el número de granos, la biomasa y el rendimiento del maíz en comparación con el control en un 8,2%, 11,5% y 12,0%, respectivamente.

La Figura 2 muestra una línea cero dentro de capacidad de campo, de donde se lee la relación del agua fácilmente (AFA) aprovechable por la planta según los días después de la siembra, la relación del agua disponible total en el suelo (ADT) según las láminas de riego suministradas y la pirámide invertida según al transcurrir de los días el suelo llega a un agotamiento crítico, momento necesario que se reponga con una lámina de riego. Procedimiento que influyó en la determinación del número de riegos en el cultivo de maíz morado.

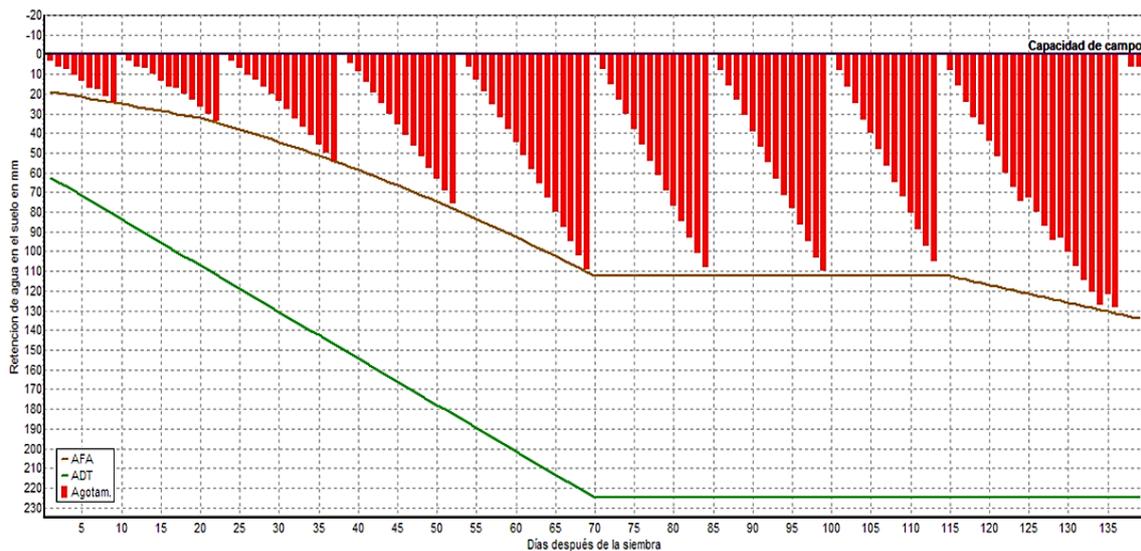


Figura 2. Retención de la humedad en el suelo en función a los días después de la siembra.

Rendimiento del cultivo

Entre los tratamientos, según el orden de mérito superior e inferior para altura de planta (m), número de mazorcas por planta y kilogramo de mazorca por área neta experimental, el tratamiento T3 (90 kg ha⁻¹) superó en promedio y estadísticamente a los demás tratamientos con 2,63 m de altura, 2,30 unidades y 6 kg de mazorca respectivamente, con menor número de riego (8) y menor cantidad de agua (1500,84 m³) tal como se muestra en la Tabla 4; y el máximo rendimiento estimado 6,50 t ha⁻¹.

Se reporta en promedio de 1,25 mazorcas por planta en la variedad PMV-581; aunque no se obtuvo diferencias estadísticas entre los tres tratamientos. Estos rendimientos estimados superan a los obtenidos por Rodríguez & Flores (2013) en ensayos sobre el "Efecto de diferentes láminas de riego por goteo y aplicación fraccionada del nitrógeno, sobre el cultivo del maíz" en su rendimiento de chilote con tres láminas de riego por goteo: 4,5 l de agua/m/día, 3,6 l de agua/m/día y 2,5 l de agua/m/día; la primera lámina indujo al mayor rendimiento con una producción de 1 641,33 kg ha⁻¹.

Por otro lado, Cabrera (2016) al estudiar el efecto de tres láminas de riego, L1: ETc = 420 mm, L2: ETc = 340 mm y L3: ETc = 260 mm por campaña, en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado; var. PMV-581, var. Cajamarca-INIA 601, var. INIA 615 - Negro CANAAN y var. Morado Canteño, sus resultados superan al obtenido en la presente investigación puesto que el mayor rendimiento comercial se dio por efecto de la lámina de riego aplicada L1: ETc = 420 mm/campaña, con 9182,5 kg ha⁻¹, con un requerimiento de riego de 4667 m³/ha. Asimismo, el número de mazorcas por planta fue 1,05 menor que los resultados obtenidos en la investigación. INIA-615 NEGRO CANAAN presentó el mayor rendimiento comercial con

8241 kg ha⁻¹ de mazorcas, siendo superior a la variedad PMV-581 en estudio realizado en condiciones de Huánuco. Zayas et al. (2020) al evaluar el efecto de los polímeros para economizar el recurso hídrico en el cultivo de maíz con presencia de hidrogel en el suelo con una dosis de 10 g por metro lineal, equivalente a 30 kg para el área de prueba (0,23 ha) registraron que la utilización del hidrogel incremento significativamente la altura de la planta, el número de hoja y los componentes del rendimiento hasta un 14% superior al tratamiento testigo y a la vez indicaron que el tratamiento sin polímeros, para mantener el nivel de humedad en el suelo se tuvo que aplicar hasta cuatro riegos más y el volumen de agua consumido fue superior en 984,0 m³ ha⁻¹, resultando ventajoso desde el punto de vista económico.

Número de riegos en relación con el rendimiento

En cuanto a la relación número de riegos y el rendimiento, la Figura 5 se reporta en función al tratamiento control T0, el cual tuvo el mayor número de riegos (15) y sin aplicación del hidrogel, con el tratamiento T3, con el menor número de riegos (8) y mayor dosis de hidrogel obtuvo el rendimiento más alto (6,50 t ha⁻¹). Esto evidencia que el hidrogel incrementa la retención de la humedad del suelo y la optimización del recurso agua, sin disminuir el rendimiento si se compara con el tratamiento control T0, al cual se aplicó una mayor lámina de riego indispensable para no bajar el rendimiento de maíz morado. Así como lo menciona Mazloom et al. (2020). El hidrogel de lignina aumentó la disponibilidad de agua, reduciendo el estrés hídrico en las hojas de maíz y aumentando la absorción de P en los brotes de maíz y según El-Asmar et al. (2017). Demostraron que la aplicación de hidrogel mejoraba el crecimiento del maíz en suelos arcillosos y franco arcillosos arenosos.

Tabla 4
Rendimiento del cultivo

Tratamientos	Altura de planta (m)	Nº de mazorcas/planta	kg. mazorca /ANE	Rendimiento t ha ⁻¹	Nº Riegos	M ³ /agua Campaña
T0	1,83 c	1,40 b	5,00 ab	6,40	15,00	2 751,54
T1	1,43 d	0,80 b	3,1 b	3,90	12,00	2 251,26
T2	2,10 b	1,50 b	4,7 b	6,10	10,00	1 834,36
T3	2,63 a	2,30 a	6,00 a	6,50	8,00	1 500,84
CV %	6,21	44	20,52			
p-valor	0,0002	0,0098	0,1138			
E. E	0,08	0,05	0,52			

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

CONCLUSIONES

El hidrogel ayuda a mantener la humedad del suelo por más tiempo y por consiguiente reduce el estrés en el cultivo de maíz morado. Una dosis adecuada de hidrogel ayuda a disminuir la frecuencia de los riegos en el cultivo, trayendo consigo un ahorro significativo del recurso hídrico. Se reporta el mayor rendimiento promedio estimado (6,50 t ha⁻¹) con la dosis alta de hidrogel (90 kg ha⁻¹) y un menor número de riegos en toda la campaña (8 riegos). Un nivel

bajo de hidrogel no retiene la humedad suficiente en el suelo y por ende se manifiesta en un rendimiento bajo y estrés en la planta. Por lo tanto, el hidrogel influye en la retención de humedad del suelo.

Es necesario continuar con las evaluaciones de los efectos del hidrogel (plantagel) sobre otros cultivos y evaluar las características en la retención del agua, sus características en el suelo y su influencia en la producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abobatta, W. (2018). Impacto del polímero de hidrogel en el sector agrícola. *Adv. Agrícola. Reinar. Ciencia.*, 1, 59-64. <https://doi.org/10.30881/aeoa.00011>.
- Ammar, A. A., Osama, M., Mamoun, A. Gharaibeh., A. G. Alghamdi, C., Mohammad, A., & Ahmad, M. A. (2022). Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 21, 518-524. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.03.001>
- Ahmed, E. M. (2015). Hidrogel: preparación, caracterización y aplicaciones: una revisión. *Revista de investigación avanzada*, 6, 105-121. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, estudios FAO Riego y Drenaje, Vol. 56, FAO, Roma, 2006. p 323.
- Basso, C., Villafañe, G., & Villafañe, R. (2016). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo (kc) de Stevia bajo condiciones parcialmente protegidas. *BIOAGRO*, 28(2), 131-136
- Cabrera, C. C. (2016). Tres láminas de riego en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) bajo riego por goteo. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Castellanos, J. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI)-México.
- Consoli, A., Stagno, F., Vanella, D., Boaga, J., Cassiani, G., & Rocuzzo, G. (2017). Partial root-zone drying irrigation in orange orchards: effects on water use and crop production characteristics. *Eur. J. Agron.*, 82, 190-202.
- Delgado, L. M. G. R. (2010). Estudio de la incorporación y dispersión de nanopartículas de plata en recubrimientos poliméricos a base de hidrogeles y su efecto en las propiedades antimicrobianas. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila. España.
- Dehkordi, D. K. (2017). Efecto del polímero superabsorbente sobre la resistencia a la sal y la sequía del *Eucalipto globulus*. *Appl Ecol Environ Res.*, 15, 1791-802.
- El-Asmar, J., Jaafar, H., Bashour, I., Farran, M. T., & Saoud, I. (2017). Hydrogel banding improves plant growth, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. *Clean - Soil, Air, Water*, 45, 1-9. <https://doi.org/10.1002/clen.201700251>
- Elizondo, H. (2021). Hidrogeles híbridos de quitosano y polietilenglicol. *Iberoamericana de Polímeros.*, 22(2), 97-112.
- Hernández, I. A. (2020). Bagazo como alternativa de conservación de humedad en el campo cañero del ingenio la Margarita S.A. de C.V., Orizaba-Córdoba: Universidad Veracruzana.
- Fawzy, M. A., & Gomaa, M. (2020). Use of algal biorefinery waste and waste office paper in the development of xerogels: a low cost and ecofriendly biosorbent for the effective removal of congo red and Fe (II) from aqueous solutions. *J Environ Manag*, 262, 110380.
- Fernández, D., Martínez M., Tavarez, C., Castillo, R., & Salas R. (2012). Estimación de las demandas de consumo de agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación," p 33.
- Figuroa-Soliz, F. F., Andrade-Almeida, J. A., Santana-Sornoza, J. W., & Menéndez-Cevallos, C. Y. (2020). Evaluación de diferentes niveles de hidrogel en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) para prolongar los periodos de riego. *Revista Científica Multidisciplinaria Sapientiae*, 3(6), 52-64.
- Garay, O. B. (2011). Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos. Lima (Perú): Instituto Geofísico del Perú.
- Guo, J., Shi, W., Wen, L., Shi, X., & Li, J. (2020). Effects of a super-absorbent polymer derived from poly-c-glutamic acid on water infiltration, field water capacity, soil evaporation, and soil water-stable aggregates. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 00, 1- 12. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1686137>
- Gupta, A., Rico-Medina, A., & Cano-Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought. *Science*, 368, 266-269.
- Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agric. Water Manage.*, 155, 113-124.
- Liu, L., Liu, B., Li, X., Wang, Z., Mu, L., Qin, C., Liang, C., Huang, C., & Yao, S. (2023). Mannitol assisted oxalic acid pretreatment of poplar for the deconstruction and separation of hemicellulose. *Ind. Crop. Prod.*, 200, 116811.
- Mazloom, N., Khorassani, R., Zohury, G. H., Emami, H., & Whalen, J. (2020). Lignin-based Hydrogel Alleviates Drought Stress in Maize. *Environmental and Experimental Botany*, 175, 104055.
- Rodríguez, T., & Flores, ML. (2013). Efecto de diferentes láminas de riego por goteo y aplicación fraccionada del nitrógeno, sobre el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) en su rendimiento de chilote. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Agraria, UNALM.
- Saha, A., Sekharan, S & Manna, U. (2020). Superabsorbent

- hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: a review. *Soil Tillage Res*, 204, 104736. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>
- Torres, A. E. O., Laura Berenice Flores Tejeida, R. G. G. G., García, E. R., & Zarazua, G. M. S. (2020). El Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1447-1453.
- Pedroza, Z. A., Yáñez Chávez, L., Sánchez Cohen, I., & Samaniego Gaxiola, J. (2015). Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Revista fitotec mexica*, 38(4), 375-381.
- Vicuña, A. X. D. (2018). Efectividad del gel hidroretenedor en el cultivo de 5 especies de árboles nativos del bosque seco de la costa de Ecuador, Guayaquil: Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.
- Xia, L & Yan, X. (2023). How to feed the world while reducing nitrogen pollution. *Nature*, 613(7942), 34-35. doi: 10.1038/d41586-022-04490-x
- Yang, W., Guo, S., Li, P., Song, R., & Yu, J. (2019). Antitranspirante foliar y super - El hidrogel absorbente afecta el intercambio de gases fotosintéticos y la eficiencia del uso del agua del maíz cultivado en condiciones de escasez de precipitaciones. *J. Ciencias. Agricultura alimentaria*, 99, 350-359. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9195>
- Zayas, E. C., González, R. C., Puebla, J. H., Robaina, F. G., Rodríguez, S. C., & García, O. S. (2020). Efecto de los polímeros súper absorbentes en la economía del agua para uso agrícola. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 21(1), 1-13.