

Dinámica de extracción de nutrientes en plantas de maíz bajo dos sistemas de irrigación en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua

Nutrient extraction dynamics in maize plants under two irrigation systems in the Cuauhtémoc region of Chihuahua

Jesús A. Olivas-Rodríguez¹, Leslie Carnero-Avilés³; Gabriel A. Trasviña-Valenzuela¹; Carlos A. Ramírez-Estrada³, Alejandro Palacio-Márquez³; Omar C. Ponce-García^{2*}.

¹ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Avenida Pascual Orozco, Chihuahua, 31310, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Labor Ejido Rosales Kilómetro 2, 33000 Ciudad Delicias, Chihuahua, México.

³ Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua, Km. 2.5 carretera a Rosales, Poniente, 33000 Delicias, Chihuahua, México.

*Autor para correspondencia: ponce.omar@inifap.gob.mx

RESUMEN

El maíz es el cultivo básico más importante en el mundo. Sin embargo, para obtener altos niveles de producción se requiere un manejo preciso de la fertilización. De este modo, el análisis de la dinámica de absorción de nutrientes podría ser una herramienta útil para mejorar las dosis de fertilización bajo los distintos sistemas de producción. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar la cantidad de nutrientes extraídos en maíz, producido bajo dos sistemas de riego en la zona de Cuauhtémoc, Chihuahua. Dos parcelas comerciales, una bajo riego por agua rodada y otra bajo riego por goteo fueron evaluadas. Se utilizó el híbrido P 1398, a una densidad de siembra de 95,000 plantas por ha. Se aplicó una dosis de fertilización de 272-1-18 y de 134-2.8-3.8 de N-P-K para las huertas bajo riego por agua rodada y riego por goteo, respectivamente. Se evaluaron rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Se empleó un diseño completamente al azar con parcelas divididas en el tiempo. Los resultados obtenidos mostraron un incremento no significativo de 10.04 % en el rendimiento bajo sistema de riego de agua rodada. Además, una extracción de nutrientes significativamente diferente entre los sistemas de riego utilizados para los nutrientes de P, Ca y Mg, destacando un comportamiento cuadrático para la extracción de N y un comportamiento cúbico para el K, lo cual sugiere que podría presentar una mayor respuesta a la fertilización. Finalmente, es necesario llevar a cabo más estudios en los que se consideren diversos híbridos, factores edáficos y tipo de fertilización con el objetivo de realizar planes de manejo más eficientes.

Palabras clave: Fertilización, nitrógeno, potasio, *Zea mays*

ABSTRACT

Maize is the most important staple crop in the world. However, to obtain high production levels, precise management of fertilization is required. Thus, the analysis of nutrient uptake dynamics could be a useful tool to improve fertilization rates under different production systems. Therefore, the objective of the present study was to determine the amount of nutrients extracted from maize produced under two irrigation systems in the Cuauhtémoc area, Chihuahua. Two commercial plots, one under run-off irrigation and the other under drip irrigation, were evaluated. The hybrid P 1398 was used at a planting density of 95,000 plants per ha. A fertilization rate of 272-1-18 and 134-2.8-3.8 of N-P-K was applied to the run-off and drip irrigation orchards, respectively. Yield and extraction of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium were evaluated. A completely randomized design with plots divided in time was used. The results obtained showed a non-significant increase of 10.04 % in yield under the run-off irrigation system. In addition, a significantly



different nutrient extraction between the irrigation systems used for nutrients P, Ca and Mg, highlighting a quadratic behavior for the extraction of N and a cubic behavior for K, which suggests that it could present a greater response to fertilization. Finally, it is necessary to carry out more studies in which various hybrids, soil factors and types of fertilization are considered in order to make more efficient management plans.

Keywords: Fertilization, nitrogen, potassium, Zea mays.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos básicos más importantes en el mundo ya que se utiliza en la alimentación humana, animal y en procesos industriales (Sánchez, 2014). México es considerado como el 6° productor a nivel mundial con 27,549,918 t de grano en el año 2023 (SIAP, 2024). Mientras que, el estado de Chihuahua es el 6° productor a nivel nacional con 1,600,000 t y uno con los rendimientos más altos con 9.2 to ha⁻¹ (SIAP, 2024).

Cuauhtémoc es uno de los principales municipios productores de maíz en el estado. La producción se realiza principalmente con riego ya sea por gravedad, aspersión o goteo, además, de un correcto manejo químico de plagas, enfermedades y nutrición. En este contexto, se encontró que la dosis de fertilización promedio es de 410-81-35 kg de NPK por hectárea, lo cual, muestra un desbalance en la aplicación de nutrientes (Ochoa *et al.*, 2022). Por lo anterior, es necesario buscar una metodología que permita mejorar las dosis de fertilización sin empobrecer el suelo o contaminar por el exceso de aplicaciones.

Una metodología ampliamente utilizada para obtener programas de fertilización adecuados es el análisis de la dinámica de absorción de nutrientes. Este análisis permite comprender la demanda de nutrientes según las etapas fenológicas del cultivo, lo que facilita la elaboración de programas de fertilización más precisos para maximizar la eficiencia durante el ciclo del cultivo (Bertsch *et al.*, 2003; Gonçalves *et al.*, 2019). Esta técnica ha dado lugar a numerosos programas de fertilización confiables en diversas zonas del mundo, adaptados a las condiciones agroecológicas específicas. Por ejemplo, Avitia-García *et al.* (2014), resaltan que las curvas de absorción y extracción de nutrientes proporcionan valores precisos de los requerimientos nutricionales, indicando la etapa fenológica en la cual la demanda de nutrientes decae o que nutriente es necesario aplicar en un tiempo específico. Por su parte, López-Astilleros *et al.* (2020), indican que es posible utilizar modelos matemáticos para predecir la extracción de

nutrientes y estudiar los patrones de crecimiento, es decir, sincronizar la demanda del cultivo con el suministro de nutrientes, haciendo más eficiente la fertilización, sin embargo, para que esta metodología sea eficiente, requiere ser ajustada por variedad, zona y sistema de producción.

Para la zona productora de Cuauhtémoc, Chihuahua no existen los datos de extracción de nutrientes con los principales híbridos de maíz y en los diferentes sistemas de riego utilizados. En base a lo anterior el objetivo del presente estudio fue determinar la cantidad de nutrientes extraídos por el híbrido de maíz p 1398, producido con riego por gravedad y goteo en la zona de Cuauhtémoc, Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El presente estudio se realizó en dos parcelas comerciales ubicadas en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua. El primer sitio se irrigó mediante riego por gravedad, cuenta con una superficie de 10 ha ubicado en las coordenadas 128°36'36" N y 106°59'13"O (Figura 1A). El sitio dos se irrigó por goteo y cuenta con una superficie de 2 ha, ubicándose en las coordenadas 128°38'18" N y 106°56'18"O (Figura 1B). Las parcelas fueron sembradas los días 26 y 27 de abril del 2022 con el híbrido de maíz amarillo P-1398 con una densidad de plantación de 95,000 plantas por ha.



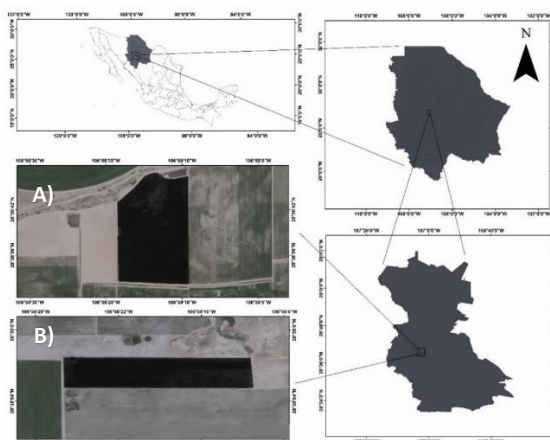


Figura 1. Localización de las parcelas experimentales en la ciudad de Cuauhtémoc, Chih. A) Sitio irrigado por gravedad. B) Sitio irrigado por goteo.

Manejo del cultivo

Para determinar las características fisicoquímicas de las parcelas experimentales se realizó un análisis de suelo formado por 5 submuestras y se presenta en el cuadro (Cuadro 1). La parcela se irrigó mediante gravedad presenta un suelo de textura media con un pH de 8.77 clasificado como fuertemente alcalino, libre de sales y con un bajo contenido de sodio. Para el suelo de la parcela irrigada por goteo se encontró un suelo de textura media con pH 8.81, libre de sales y un alto contenido de sodio.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de los suelos las parcelas sembradas con maíz amarillo en la región de Cuauhtémoc, Chih.

Parámetro	Riego por gravedad	Riego por goteo	Unidad
Textura	Franco Arcillo-arenosa	Franco Arcillo-arenosa	
pH	8.77	8.81	
C.E.	0.694	0.758	dS m ⁻¹
CIC	14.98	27.39	meq 100g ⁻¹
M.O.	0.93	1.71	%
Nitrógeno	17.28	10.5	
Fósforo	48.49	39.67	
Potasio	258.4	771.77	
Calcio	2294.82	3792.8	
Magnesio	240.4	298.95	mg kg ⁻¹
Hierro	49.66	20.54	
Zinc	2.67	6.03	
Manganeso	42.81	18.9	
Azufre	53.16	60.76	
Boro	1.58	1.8	
Calcio	77.87	74.71	
Magnesio	13.6	9.81	%
Potasio	4.38	7.6	
Sodio	4.14	7.8	

La dosis de fertilización para la parcela de riego rodado fue 272-1-18 de N-P-K, la cual, se aplicó mediante 230 kg de la mezcla de fertilizante aplicado en la base y 550 kg de urea aplicados uno en fase vegetativa y el otro en fase reproductiva (hoja 4 y espiga). Para la parcela irrigada por goteo en cintilla, se aplicó una dosis de fertilización 134-2.8-3.8 unidades de NPK distribuidos en siete aplicaciones durante el ciclo del cultivo

Diseño experimental

Con base a los tipos de riego se empleó un diseño completamente al azar con parcelas divididas en el tiempo, donde la parcela principal fueron los tipos de riego: riego por gravedad y riego por goteo subterráneo con cintilla y como subparcela las

mediciones en el tiempo con seis repeticiones compuestas por cinco plantas por tratamiento.

Variables Evaluadas

Para la extracción de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) se realizaron 5 muestreos (Cuadro 2).

Para estandarizar los resultados se expresaron como Grados Día de Desarrollo (GDD), los cuales, se calcularon con la consigna de que ningún crecimiento se da por debajo de los 10°C o por encima de 30°C y se calcularon con la siguiente formula:

$$GDD = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - 10$$

Donde:

Tmin= Temperatura mínima registrada en la estación meteorológica.

Tmax= Temperatura máxima registrada en la estación meteorológica.

Cuadro 2. Numero de muestreo, fechas de la toma de muestras, etapa fenológica, DDS y GDD.

Etapa fenológica	Muestreo	DDS*	GDD**
V4 – V5	1	27	249
V8 – V9	2	47	464
VT – R1	3	82	872
R2	4	100	1086
R5	5	131	1396

*DDS= Días después de siembra; **GDD= Grados día de desarrollo.

Rendimiento. Se realizó al momento de la cosecha, cuando la planta contaba con un 14.5 % de humedad y se realizó mediante una muestra de mazorcas colectadas en dos metros lineales. Finalmente se realizó un ajuste para obtener el rendimiento por hectárea. El rendimiento se expresó en t ha⁻¹

Extracción de nutrientes

Para evaluar la extracción de nutrientes se relacionó la concentración con la biomasa por etapa fenológica con base en la siguiente ecuación:

$$EMN = \frac{(M.F.) * (M.S.) * (C.N.)}{10 * (M.F.)}$$

En el cual:

EMN = Extracción de macronutrientes en g kg⁻¹

M.F. = Peso fresco del tejido en g

M.S. = Materia seca en %

C.N. = Concentración nutrientes en %

Para la concentración de nutrientes las muestras fueron llevadas al laboratorio INIFAP RASPA (Relación agua, suelo, planta) ubicado en la ciudad de Gómez Palacio, Durango. Se midió la concentración de N, P, K, Ca y Mg. Para el N, se realizó la metodología de Kjeldahl. Para el resto de los nutrientes se realizó una mineralización húmeda ácida (ácido nítrico y perclórico) y se cuantificaron por medio de espectrometría de absorción atómica. Finalmente, los resultados obtenidos se ajustaron a kg por ha de acuerdo con la biomasa total de cada predio.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis ANOVA y para la separación de tratamientos se aplicó un análisis de Tukey (p ≤ 0.05). Estos procedimientos se realizaron mediante el programa estadístico SPSS.

Para analizar las dinámicas de extracción de nutrientes se seleccionaron los modelos de regresión más simples, con mejor ajuste (R²) y estadísticamente significativas. Para que las curvas cumplieran con los parámetros de normalidad y homogeneidad se aplicó la raíz cuadrada a algunos elementos (Señalados en los resultados y discusión). Todos los procedimientos estadísticos se realizaron por medio del programa estadístico SigmaPlot 12.0.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

Para el rendimiento no se encontraron diferencias estadísticas significativas, con un rendimiento de 15.5 t ha⁻¹ para el riego por gravedad y 14.8 t ha⁻¹ para el riego por goteo (Figura 2). Al comparar los tratamientos, el sistema de riego de agua rodada presentó un incremento no significativo de 10.04 % en relación con el sistema de riego por goteo.

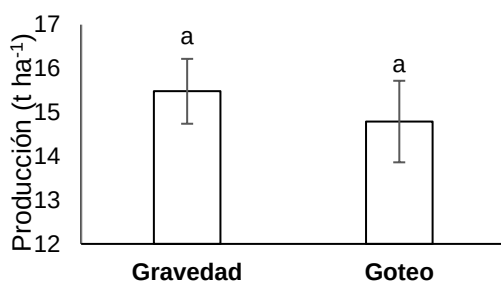


Figura 2. Rendimiento de híbrido de maíz amarillo P1382 bajo dos sistemas de riego.

Ambos tratamientos evaluados presentaron rendimientos que superaron el promedio nacional mexicano de 3.9 t ha⁻¹ reportado por la Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024).

Los rendimientos obtenidos en el presente trabajo de investigación no concuerdan con lo publicado por diversos estudios, donde mencionan que los sistemas de irrigación obtienen mejores resultados en plantas de maíz (Khawla *et al.*, 2019; Muhammad *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2017). En este contexto Ponce y Ramírez (2023), mencionan que para un rendimiento de 14 ton ha⁻¹, la extracción de nutrientes es de 266-84-182 unidades de N-P-K, por lo anterior, la fertilización en riego por cintilla, para este estudio, fue insuficiente. Sin embargo, los resultados obtenidos superan los reportados por Biasutti *et al.* (2016), los cuales evaluaron diferentes híbridos bajo condiciones climáticas semiáridas obteniendo un promedio de 8.3 t ha⁻¹.

Extracción de nutrientes

La extracción de nutrientes encontró que los elementos con mayor tasa de extracción en el cultivo

de maíz son N y K, seguidos por P, Ca y Mg. Se encontró que existieron diferencias significativas en la extracción de P, Ca y Mg, en los cuales, la parcela irrigada por gravedad presentó una extracción mayor al irrigado por goteo presentando incrementos de 44.4, 48 y 60 % respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Extracción de nutrientes por el cultivo de maíz irrigado por goteo y gravedad en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. Letras diferentes indican diferencia significativa.

Tipo de Riego	N	P	K	Ca	Mg
Kg t ⁻¹					
Cintilla	16.18a	2.7b	12.48a	1.5b	0.55b
Gravedad	16.17a	3.9a	12.43a	2.22a	0.88a

Estos resultados explican la diferencia en el rendimiento presentada en este estudio, confirmando que la fertilización por cintilla por parte del productor fue deficiente, en este sentido Sitko *et al.* (2019), indica que una deficiencia de P, Mg o Ca en el cultivo del maíz puede ocasionar impactos severos en la fisiología de la planta, reduciendo el crecimiento, la tasa fotosintética, los niveles de clorofila, afectando en conjunto el rendimiento. Es por esto que, un correcto balance entre la aplicación de N, P, K, Ca y Mg mejora los niveles de los nutrientes en hoja provocando incrementos significativos en el rendimiento, además de incrementar la disponibilidad de dichos nutrientes en el suelo (Syamsiyah *et al.*, 2024).

En el caso del N se encontró una extracción de 233 y 248 kg ha⁻¹ para las zonas irrigadas con goteo y gravedad respectivamente. Para ambas extracciones se encontraron respuestas cuadráticas, altamente significativas y se observa que para ambos tratamientos la extracción es alta desde el inicio y tiende a estabilizarse hacia desde los 1195 GDD, siendo el riego por gravedad el que presenta un decaimiento cuando se acerca la cosecha (Figura 3).



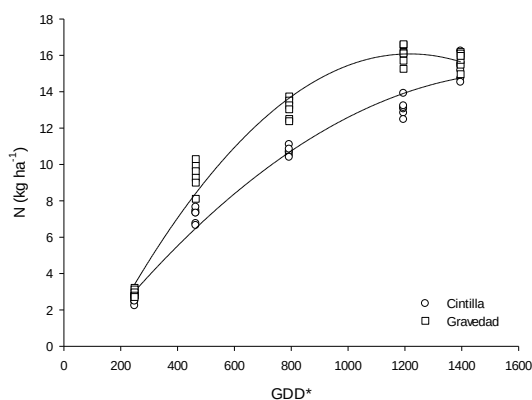


Figura 3. Curvas de extracción de N para el híbrido de maíz amarillo P1382 bajo dos sistemas de riego. *GDD: Grados días de desarrollo

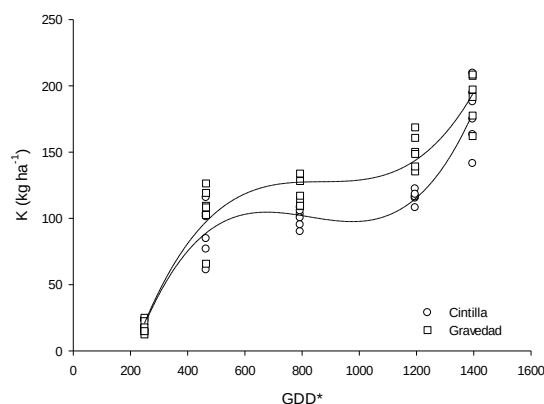


Figura 4. Curvas de extracción de K para el híbrido de maíz amarillo P1382 bajo dos sistemas de riego. *GDD: Grados días de desarrollo

Diversos estudios han establecido curvas de N para las diferentes variedades y híbridos de maíz con el objetivo de estandarizar la fertilización, encontrando resultados consistentes, sobre todo en regiones áridas y semiáridas, ofreciendo estrategias prometedoras para mejorar el uso eficiente de nitrógeno (Ciampitti *et al.*, 2021; Jégo *et al.*, 2022; Syamsiyah *et al.*, 2024). Por su parte Du *et al.* (2020), mencionan que la determinación de una curva de extracción de N podría definir la concentración mínima de N necesaria en cada etapa fenológica para alcanzar la máxima producción de biomasa y rendimiento. Remache *et al.* (2017), indica que el 50 % del total de N extraído se alcanza durante la etapa vegetativa, llegando al pico máximo de extracción en la etapa de grano lechoso, para comenzar a decaer hasta el punto de cosecha, resultados similares a los obtenidos en el presente estudio.

Por su parte el K presentó una extracción de 192.7 y 184.7 kg ha⁻¹ para el tratamiento con riego por goteo y cintilla respectivamente, de igual manera para ambas extracciones se encontraron respuestas cúbicas, altamente significativas y se observa que para ambos tratamientos la extracción es alta desde el inicio y tiende a estabilizarse en los 600 GDD, para volver a tener un pico de extracción cerca de los 1200 GDD el cual se mantiene creciendo hasta el punto de cosecha, esto debido a la importancia del K para la formación de frutos.

Los resultados concuerdan con diversos estudios los cuales comentan que la curva de extracción de potasio tiende a tener respuestas mas fuertes a la aplicación de fertilizantes, llegando a tener respuestas cúbicas en el caso del maíz, mientras que en otros cultivos como soya o trigo la respuesta por lo general es cuadrática (Días *et al.*, 2022; Schlindwein *et al.*, 2011). Además, los resultados son similares a estudios previos que han descrito la dinámica de absorción de potasio en maíz. Jiang *et al.* (2018), indicaron que una absorción por encima de los 200 kg ha⁻¹ no presentó efectos significativos en el rendimiento de grano, por lo que se considera la dosis recomendada. Finalmente, tal y como indican Martins *et al.* (2017), las etapas críticas de absorción de potasio se encuentran en etapas de floración y llenado de grano, cuando el 50 % de los granos se encuentran en estado pastoso, por lo tanto, esto podría explicar el comportamiento cúbico de la curva de extracción de potasio, teniendo un segmento recto de estabilización después de la floración e incrementando hacia el llenado de grano.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que la extracción de nutrientes fue significativamente diferente entre los sistemas de riego utilizados para los nutrientes de P, Ca y Mg, sin embargo, esas diferencias no se vieron reflejadas en el rendimiento.

La extracción de N presentó una extracción cuadrática encontrando el punto máximo en la etapa de llenado de grano, mientras que la extracción de potasio presentó una extracción cúbica, por lo cual



sugiere que podría presentar una mayor respuesta a la fertilización, indicando dos picos de absorción, uno al inicio hasta los 600 GDD y el segundo comenzando en los 1200 GDD, por lo cual se recomienda hacer aplicaciones de este nutriente en estas etapas fenológicas.

Finalmente, es necesario llevar a cabo más estudios en los que se consideren diversos híbridos, factores edáficos y tipo de fertilización con el objetivo de realizar planes de manejo más eficientes, buscando alcanzar la sostenibilidad.

LITERATURA CITADA

- Avitia-García, E., Pineda-Pineda, J., Castillo-González, A. M., Trejo-Téllez, L. I., Corona-Torres, T., y Cervantes-Urbán, E. (2014). Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 519-524.
- Bertsch, F., Hernández, J. C., Arguedas, F., & Acosta, M. (2003). Curvas de absorción de nutrimentos en dos variedades, bibrí y sacapobres, de frijol común de grano rojo. *Agronomía Costarricense*, 27(2), 75-81.
- Biasutti, C., Bongianino, N., y de la Torre, M.V. (2021) Evaluación de híbridos entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) para siembra tardía en la zona semiárida de la provincia de Córdoba. *Nexo agropecuario*, 9(1), 14-16.
- Ciampitti, I. A., Fernandez, J., Tamagno, S., Zhao, B., Lemaire, G., y Makowski, D. (2021). Does the critical N dilution curve for maize crop vary across genotype x environment x management scenarios? a Bayesian analysis. *European Journal of Agronomy*, 123, 126202. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126202>
- Dias, R. D. C., Teixeira, P. C., Pereira, R. N., Loiola, J. A. D., Pereira, M. G., & Zonta, E. (2022). Curvas de resposta do milho à adubação potássica obtidas através de experimento fatorial. *Revista Agrária Acadêmica*, 5(2), 35-49.
- Du, L., Li, Q., Li, L., Wu, Y., Zhou, F., Liu, B., y Yuan, J. (2020). Construction of a critical nitrogen dilution curve for maize in Southwest China. *Scientific Reports*, 10(1), 13084. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70065-3>
- Gonçalves, F. A. R., de Aquino, P. M., Duarte, L. O., de Aquino, R. F. B. A., dos Reis, M. R., & de Aquino, L. A. (2019). Macronutrient extraction curves of the onion crop. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 40(6), 2497-2512. <https://doi.org/10.5433/16790359.2019v40n6p2497>
- Jégo, G., Sansoulet, J., Pattey, E., Beaudoin, N., Bélanger, G., Ziadi, N., y Justes, E. (2022). Determination of nitrogen dilution curves of corn, canola, and spring wheat in Canada using classical and Bayesian approaches. *European Journal of Agronomy*, 135, 126481. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126481>
- Jiang, W., Liu, X., Wang, Y., Zhang, Y., & Qi, W. (2018). Responses to potassium application and economic optimum K rate of maize under different soil indigenous K supply. *Sustainability*, 10(7), 2267. <https://doi.org/10.3390/su10072267>
- Khawla, K., Besma, K., Enrique, M., Mohamed, H. (2019). Accumulation of trace elements by corn (*Zea mays*) under irrigation with treated wastewater using different irrigation methods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170, 530-537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.025>
- López-Astilleros, O., Vinay Vadillo, J. C., Villegas-Aparicio, Y., López Guerrero, I., y Lozano-Trejo, S. (2020). Dinámica de crecimiento y curvas de extracción de nutrientes de *Pennisetum* sp. (Maralfalfa). *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 255-265.
- Martins, K. V., Dourado-Neto, D., Reichardt, K., Favarin, J. L., Sartori, F. F., Felisberto, G., & Mello, S. C. (2017). Maize dry matter production and macronutrient extraction model as a new approach for fertilizer rate estimation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89, 705-716. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160525>
- Muhammad, I., Lv, J. Z., Yang, L., Ahmad, S., Farooq, S., Zeeshan, M., y Zhou, X. B. (2022). Low irrigation water minimizes the nitrate nitrogen losses without compromising the soil fertility, enzymatic activities and maize growth. *BMC Plant Biology*, 22(1),



159. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03548-2>
- Ochoa, R. J. M., Holguín, G. F., Ponce, G. O. C., Álvarez, H. A., Arellano, A. S. y Ramírez, V. O. (2022). Como se produce el maíz en las comunidades menonitas del noreste de Chihuahua. Desplegable informativa #9. INIFAP.
- Remache, M., Carrillo, M., Mora, R., Durango, W., & Morales, F. (2017). Absorción de macronutrientes y eficiencia del N, en híbrido promisorio de maíz. Patricia Pilar, Ecuador. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 103-115.
- Sánchez, O, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*. Serie Botánica, 7(2), 151-171.
- Schindwein, J. A., Bortolon, L., & Gianello, C. (2011). Calibração de métodos de extração de potássio em solos cultivados sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 1669-1678.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). Panorama agroalimentario. La ruta de la transformación agroalimentaria 2018-2024. Consultado el 02 de noviembre de 2024, desde <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>
- Sitko, K., Gieroń, Ż., Szopiński, M., Zieleźnik-Rusinowska, P., Rusinowski, S., Pogrzeba, M., y Małkowski, E. (2019). Influence of short-term macronutrient deprivation in maize on photosynthetic characteristics, transpiration and pigment content. *Scientific reports*, 9(1), 14181. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50579-1>
- Syamsiyah, J., Hartati, S., Rahmanisa, L., Maro'ah, S., y Herdiansyah, G. (2024). The effect of balanced N, P, K, Ca, Mg fertilizer on soil and leaf nutrient and its correlation with growth and corn yield (*Zea mays* L.). *Journal of Aridland Agriculture*, 10, 58-64. <https://doi.org/10.25081/jaa.2024.v10.8646>
- Wang, Y., Janz, B., Engedal, T., y de Neergaard, A. (2017). Effect of irrigation regimes and nitrogen rates on water use efficiency and nitrogen uptake in maize. *Agricultural Water Management*, 179, 271-276. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.007>

