

DESARROLLO DE RAÍCES TUBEROSAS DE REMOLACHA, INFLUENCIADO POR LA APLICACIÓN DE DOSIS CRECIENTES DE FERTILIZACIÓN POTÁSICA

DEVELOPMENT OF BEET TUBER ROOTS, INFLUENCED BY THE APPLICATION OF
INCREASING DOSES OF POTASSIUM FERTILIZER

Daisy González Romero^{1*} , Marcos Antonio Sánchez González¹  y Oscar Luis Caballero
Casuriaga¹ 

¹ Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Agrarias, Concepción, Paraguay.

*Autor por correspondencia: daigonza98@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar el desarrollo y productividad de raíces tuberosas de remolacha (*Beta vulgaris* L.), influenciado por la aplicación de dosis de fertilizante potásico, la cual fue llevada a cabo en el área de Horticultura de la FCA – UNC, situada sobre la ruta V, Gral. Bernardino Caballero Km 210, entre los meses de julio a octubre de 2021. El diseño empleado fue Bloques Completos al Azar, con 6 tratamientos y 4 repeticiones (Bloques). Los tratamientos fueron T1: 0 kg ha⁻¹ de KCl; T2: 20 kg ha⁻¹ de KCl; T3: 40 kg ha⁻¹ de KCl; T4: 60 kg ha⁻¹ de KCl; T5: 80 kg ha⁻¹ de KCl; T6: 100 kg ha⁻¹ de KCl. Se evaluaron el diámetro ecuatorial y polar de raíces tuberosas, sólidos solubles de raíces tuberosas y el rendimiento de raíces tuberosas. Los datos obtenidos fueron sometidos a ANAVA, mediante el Test F y las medias de los tratamientos, comparadas entre sí por el Test de Tukey al 5%, también análisis de regresión. Los resultados indicaron que, para las determinaciones, diámetro polar y rendimiento de raíces tuberosas fueron obtenidas diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados; en ambas variables, la dosis de 40 kg ha⁻¹ de KCl mostró los valores más altos.

Palabras clave: *Beta vulgaris* L., rendimiento, fertilizante potásico.

ABSTRACT

This research was conducted with the aim of evaluating the development and productivity of beetroot tubers (*Beta vulgaris* L.), influenced by the application of potassium fertilizer doses, which was carried out in the Horticulture area of the UNC – UNC, located on Route V, Gral. Bernardino Caballero Km 210, between July and October 2021. The design used was Randomized Complete Blocks, with 6 treatments and 4 replicates (Blocks). The treatments were T1: 0 kg ha⁻¹ of KCl; T2: 20 kg ha⁻¹ of KCl; T3: 40 kg ha⁻¹ of KCl; T4: 60 kg ha⁻¹ of KCl; T5: 80 kg ha⁻¹ of KCl; T6: 100 kg ha⁻¹ of KCl. The equatorial and polar diameters of tuberous roots, soluble solids of tuberous roots, and tuberous root yield were evaluated. The data obtained were subjected to ANOVA using the F-test, and the means of the treatments were compared using Tukey's test at 5%, as well as regression analysis. The results indicated that, for the determinations, polar diameter and tuberous root yield, statistically significant differences were obtained between the treatments evaluated; in both variables, the dose of 40 kg ha⁻¹ of KCl showed the highest values.

Keywords: *Beta vulgaris* L., yield, potassium fertilizer.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las especies, el potasio es el nutriente que más se acumula y participa directamente en los procesos de fotosíntesis y transporte de asimilados (Wang et al., 2015).

El potasio (K), muy necesario para el crecimiento y desarrollo efectivo de la remolacha, es muy exigido por el cultivo, siendo esencial para el proceso fotosintético, el transporte de azúcar de las hojas a las raíces y la reducción del estrés oxidativo. Otra función muy importante del K es el mantenimiento del potencial osmótico de la planta, la turgencia celular y la regulación de la apertura y el cierre de estomas. El mantenimiento del potencial osmótico, una función no específica del K, puede ser compensado por otros cationes, como el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el sodio (Na). La eficiencia y los beneficios de la fertilización potásica dependen de factores como las fuentes, las dosis y el modo de aplicación de los fertilizantes potásicos (Geisseler et al., 2017; Murrell et al., 2021).

Para que la planta pueda expresar su máximo potencial genético, varios factores ambientales interfieren directamente en el proceso, como la temperatura, el fotoperiodo y la nutrición mineral. La predicción del comportamiento del desarrollo del cultivo de la remolacha en un lugar específico se ve dificultada por las especificidades ambientales de cada lugar, lo que hace necesario realizar ensayos de campo para conocer la fenología y las necesidades nutricionales de los diferentes cultivares (Resende et al., 2016).

Por lo expresado, el objetivo general planteado fue evaluar el desarrollo y productividad de raíces tuberosas de remolacha, influenciada por la aplicación de dosis de fertilizante potásico, teniendo como objetivos específicos, determinar diámetro ecuatorial y polar de raíces tuberosas, evaluar peso promedio de raíces tuberosas, determinar rendimiento del cultivo y determinar sólidos solubles de las raíces tuberosas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el área de horticultura del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Concepción, situada en la ciudad de Concepción, ruta V Gral. Bernardino Caballero (km 210); cuyas coordenadas son Latitud 23°24'38" S; y Longitud 57°24'49.9" O. El periodo del experimento fue comprendido entre los meses de julio a octubre del 2021.

Durante el desarrollo del trabajo las

temperaturas medias tuvieron una mínima de 8°C y las máximas alcanzaron los 33,8°C. La precipitación media alcanzó 11 mm (FECOPROD, 2021). Conforme a los resultados del análisis de suelo, realizado en el Laboratorio de Suelos, las características físicas y químicas de la muestra analizada fueron: pH agua= 6,54; M.O. %=1,8; Ca (cmolc dm⁻³)= 12,14; Mg (cmolc dm⁻³)= 2,26; K (cmolc dm⁻³)= 0,34; P (mg dm⁻³)= 25,97; S (mg dm⁻³)= 5,48; Tex= Arena leve arcilloso (Laborsolo, 2021).

El diseño empleado fue el de Bloques Completos al Azar (DBCA), con 6 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos fueron T1: 0 kg ha⁻¹ de KCl; T2: 20 kg ha⁻¹ de KCl; T3: 40 kg ha⁻¹ de KCl; T4: 60 kg ha⁻¹ de KCl; T5: 80 kg ha⁻¹ de KCl; T6: 100 kg ha⁻¹ de KCl. Se realizó la preparación de tablones, los cuales fueron preparados con herramientas, contaron con 0,2 m de altura y 1 m de ancho, que fueron distribuidos dentro de la parcela experimental y determinaron los tratamientos y bloques. La fertilización orgánica se realizó mediante la aplicación de 4 kg m² de estiércol vacuno, el cual fue incorporado al momento de preparar los tablones. Fueron sembradas semillas de remolacha de la variedad Early Wonder, directamente en los tablones, depositando una semilla por hoyo, con un distanciamiento de 0,2 m entre plantas y 4 hileras por cada tablón de 1 m de ancho.

La fuente de fertilización nitrogenada de base fue la urea y se aplicó 50% de la dosis recomendada de base, al momento de la preparación de los tablones. El 50% restante se aplicó en cobertura a 20 días después de la emergencia de las plantas; de manera uniforme para todos los tratamientos y repeticiones. No se aplicó fertilizante fosfatado, considerando que los resultados del análisis de suelo realizados indican tenores adecuados de este nutriente.

Se utilizó cloruro de potasio, como fuente de potasio, fue aplicado el mismo distribuyendo las dosis, que contemplaron los tratamientos (0, 20, 40, 60, 80, 100 kg ha⁻¹ de KCl) de la siguiente manera: 50% de base, al momento de la elaboración de los tablones, y 50% en cobertura, 20 días después de la emergencia de las plantas, cuando las mismas se encontraban en fase de desarrollo vegetativo.

La cosecha se realizó a partir de los 45 DDS, una vez que las raíces tuberosas fueron quedando por encima de la superficie del suelo y se extendió hasta la cosecha total de la parcela, aproximadamente 60 DDS. Las determinaciones se realizaron seleccionando 10

plantas por UE y procediendo a medir las siguientes determinaciones:

Diámetro ecuatorial de raíces tuberosas (cm): esta determinación se realizó mediante un calibrador Vernier, se colocó en la parte media de la cabeza. Los datos fueron expresados en centímetros (Villalba et al., 2020).

Diámetro polar de raíces tuberosas (cm): Para realizar dicha medición se utilizó un calibrador vernier, desde la base inferior de la raíz hasta la parte superior, expresando los datos en centímetros (Villalba et al., 2020).

Sólidos solubles de las raíces tuberosas (°Brix): Se determinó extrayendo una pequeña muestra de las raíces tuberosas. Mediante un refractómetro (Villalba et al., 2020).

Rendimiento (kg ha⁻¹): Las raíces fueron pesadas y promediadas y se estimó el rendimiento, expresándolo en t ha⁻¹, aplicando la siguiente fórmula: $R = PFP \text{ (kg planta}^{-1}\text{)} \times NP \text{ (plantas ha}^{-1}\text{)}$. Donde: R = Rendimiento, PFP = Peso de los frutos por planta (kg planta⁻¹), NP = Número de plantas por hectárea (plantas ha⁻¹) (Castillo, 2014).

Se realizó análisis de varianza a través del test de Fisher, y para los casos en que fueron detectadas diferencias estadísticamente significativas fue realizado el análisis de regresión, así también, se realizó comparación de medias mediante el test de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diámetro ecuatorial de raíces tuberosas

En la tabla 1, se observan las medias de los resultados obtenidos por los tratamientos aplicados al cultivo de remolacha para diámetro ecuatorial de raíces tuberosas, en la cual no fueron detectadas diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Las medias más altas, desde el punto de vista agronómico fueron alcanzadas con el tratamiento 1, que consistió en 0 kg ha⁻¹ de KCl; mientras que las medias más bajas fueron alcanzadas con el tratamiento 5 (80 kg ha⁻¹ de KCl), existiendo entre ambos una diferencia de 0,92 cm.

Una probable explicación para los resultados obtenidos podría atribuirse a lo señalado por Oliveira et al. (2016), quienes investigando sobre fertilización con fósforo y potasio en el cultivo de la remolacha, no obtuvieron respuesta significativa para diámetro de raíces tuberosas, para las dosis de potasio aplicadas, señalando que los tenores de potasio disponibles en el suelo fueron suficientes para satisfacer la demanda nutritiva de las plantas.

Tabla 1. Efecto de dosis de fertilización potásica sobre el diámetro ecuatorial de raíces tuberosas de remolacha.

Dosis de KCl (kg ha ⁻¹)	Diámetro ecuatorial (cm) ^{NS}
0	6,50
40	6,45
20	6,36
60	6,31
100	5,68
80	5,58
DMS (cm)	2,32
MG (cm)	6,15
CV (%)	16,44

NS: Diferencia no significativa. DMS: Diferencia mínima significativa. MG: Media general. CV: Coeficiente de variación.

Sanabria et al. (2019), investigando con fertilización nitrogenada y potásica en el cultivo de remolacha, a diferencia del presente trabajo, hallaron diferencias estadísticamente significativas para dosis de potasio, para la determinación diámetro ecuatorial; lo cual no pudo ser detectado en la presente investigación. Por otra parte, en la misma investigación se demostró que la dosis de 100 kg ha⁻¹ fue el tratamiento con el mayor promedio, y superior a los demás tratamientos.

Diámetro polar de raíces tuberosas

Se observan diferencias a nivel estadístico entre los tratamientos evaluados; en la figura 1, se puede observar el análisis de regresión realizado, entre el diámetro polar de raíces tuberosas de remolacha, en cuanto a las dosis de potasio evaluadas en la investigación.

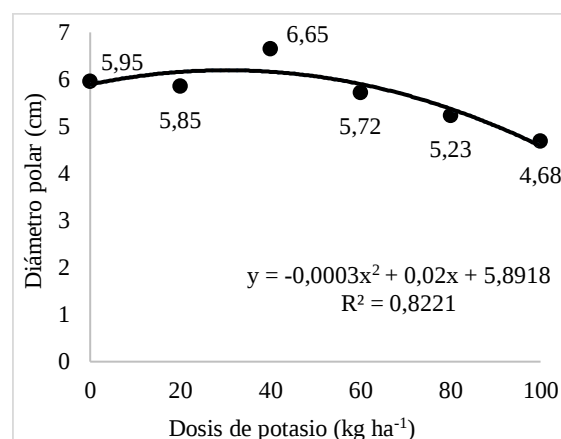


Figura 1. Análisis de regresión entre las dosis de fertilización potásica y el diámetro polar de raíces tuberosas de remolacha.

Para el diámetro polar de raíces tuberosas de remolacha, en cuanto a las dosis de potasio

aplicadas se genera una curva ajustada de tipo polinomial cuadrática: produciéndose un incremento en el diámetro polar de las raíces tuberosas, hasta cierto valor crítico (6,65 cm, con la dosis de 40 kg ha⁻¹ de KCl), por encima del cual se produce una reducción de estos valores, a medida que se aumentan los tenores de potasio aplicados.

El tratamiento de mejor desempeño para esta determinación resultó ser el tratamiento 3 (40 kg ha⁻¹ de KCl), con medias de 6,65 cm. Abdelaal et al. (2015), investigando el efecto de la aplicación foliar de microelementos y niveles de potasio sobre el crecimiento, las características fisiológicas y de calidad de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) en suelos recién recuperados, lograron elevar los valores del diámetro de las raíces de las plantas evaluadas, resultados coincidentes con los alcanzados en la presente investigación,

También Sanabria et al. (2019), en relación a los promedios de diámetro polar con la aplicación de dosis de potasio, obtuvo mejores resultados con la dosis de 180 kg ha⁻¹, y no con la dosis más alta, de 270 kg ha⁻¹, observaron que el diámetro aumenta hasta un punto y luego empieza a disminuir, eventualmente por efectos de toxicidad. Esto podría explicar la diferencia entre los tratamientos 3 y 6 en la presente investigación, ya que se observa un aumento del diámetro polar hasta el tratamiento 3 y luego una disminución.

Sanabria et al. (2019), evaluando los fertilizantes nitrógeno y potasio en el desarrollo y productividad de la remolacha, hallaron diferencias estadísticamente significativas para dosis de potasio de manera coincidente al presente trabajo, para la determinación diámetro polar de raíces tuberosas.

Sólidos Solubles de raíces tuberosas

En la tabla 2, muestran las medias de los resultados obtenidos por los tratamientos aplicados al cultivo de remolacha para sólidos solubles de raíces tuberosas, en la cual no fueron observadas diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Pelaez (2019), aporta que los niveles de azúcares en la remolacha, están en torno al 20% de su composición, lo cual es una característica genética de esta especie, y probablemente, la causa por la que los tratamientos aplicados no hayan ejercido respuesta significativa para esta determinación.

Coincidiendo con el presente trabajo, Sanabria et al. (2019), no obtuvieron diferencias

significativas para esta determinación, investigando sobre el efecto de diferentes dosis de potasio.

Tabla 2. Efecto de la dosis de fertilización potásica sobre sólidos solubles de raíces tuberosas de remolacha.

Dosis de KCl (kg ha ⁻¹)	Sólidos Solubles (°Brix) ^{NS}
100	22,15
0	22,00
20	21,65
60	21,63
80	21,17
40	19,75
DMS (°Brix)	2,98
MG (°Brix)	21,69
CV (%)	6,07

NS: Diferencia no significativa. DMS: Diferencia mínima significativa. MG: Media general. CV: Coeficiente de variación.

El potasio tiene efecto significativo en el cultivo de tomate, tanto en las determinaciones de diámetro polar y ecuatorial del fruto, peso y rendimiento total, además del contenido de sólidos solubles (INTAGRI, 2017). Esto coincide con la presente investigación.

Rendimiento

Se observan diferencias significativas a nivel estadístico entre los tratamientos evaluados; en la figura 2, se puede observar el análisis de regresión realizado, entre el rendimiento de raíces tuberosas de remolacha y las dosis de potasio evaluadas en la investigación.

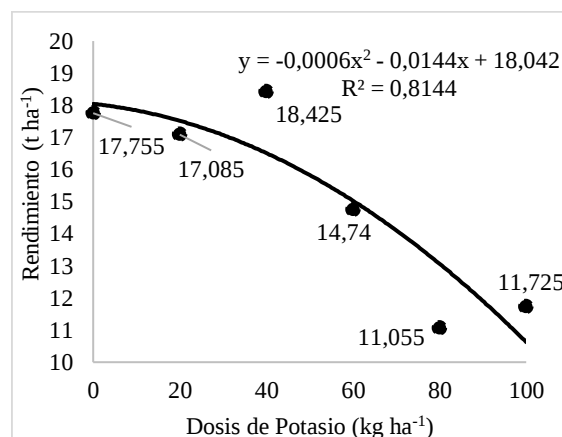


Figura 2. Análisis de regresión entre las dosis de fertilización potásica y el rendimiento de raíces tuberosas de remolacha.

El análisis de regresión de la figura señala los valores máximos con la dosis de 40 kg ha⁻¹

de KCl (18,425 t ha⁻¹), y luego un descenso gradual de estos valores. Se vio un aumento a nivel productivo de la remolacha, a dosis mayores de fertilización, pero solo hasta un punto, luego se observa que en las mayores dosis no hay buenos resultados, estos comportamientos podrían ser explicados ante lo mencionado por Oliveira et al. (2016), quienes señalan que el fenómeno conocido como, consumo de lujo, donde una alta disponibilidad de potasio en el suelo, hace que el cultivo siga asimilando el nutriente, sin que se produzcan incrementos significativos en el rendimiento del mismo.

Así mismo, Robles (2015), investigando sobre el cultivo de la remolacha bajo diferentes niveles de nutrición, concluye que el potasio, no influye en el rendimiento de raíces tuberosas; resultados no coincidentes con el presente trabajo de investigación.

CONCLUSIONES

La fertilización potásica en el cultivo de remolacha generó efectos significativos sobre el diámetro polar y el rendimiento de las raíces tuberosas. En ambas variables, la dosis de 40 kg ha⁻¹ de KCl mostró los valores más altos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdelaal, K. A., Badawy, S. A., & Neana, S. M. (2015). Effect of foliar application of microelements and potassium levels on growth, physiological and quality characters of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under newly reclaimed soils. *Journal of Plant Production*, 6(1), 123-133. doi: 10.21608/jpp.2015.49290
- Castillo, C. O. M. (2014). *Evaluación de tres niveles de fertilización química en dos híbridos de zucchini (Cucurbita pepo L.) en la zona de San Antonio de Ibarra, Provincia de Imbabura* (Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo, 2014). <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/734>
- Del Valle, M. D. (2017). *Evaluación de fuentes de potasio sobre rendimiento de camote; Jacaltenango, Huehuetenango* (Tesis Doctoral, Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango, Guatemala, 9001). <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2017/06/14/Del%20Valle-Marlo.pdf>
- FECOPROD. (2021). *Fecoclíma FCA–Concepción*. Concepción, Paraguay. <https://fecoclima.fecoprod.com.py/cli/ma/#/principal/25>
- Geisseler, D., Linquist, B. A., & Lazicki, P. A. (2017). Effect of fertilization on soil microorganisms in paddy rice systems—A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 115, 452-460. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.018>
- INTAGRI. (2017). *Las Funciones del Potasio en la Nutrición Vegetal*. Serie Nutrición Vegetal Núm. 100. Artículos Técnicos de Intagri. México
- LABORSOLO. (2021). *Análisis de suelo*.
- Murrell, T. S., Mikkelsen, R. L., Sulewski, G., Norton, R., & Thompson, M. L. (2021). *Improving potassium recommendations for agricultural crops* (p. 455). Springer Nature.
- Oliveira, R. J., Gatiboni, L. C., Valichski, R. R., Miquelluti, D. J., & Brunetto, G. (2016). Calibração da adubação fosfatada e potássica para beterraba na região do Vale do Itajaí. *Horticultura Brasileira*, 34, 210-215. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160000200010>
- Pelaez, E. (2019). *Remolacha, la raíz más dulce*. <https://www.diariosur.es/malagaenlamesa/rojo-corazon-tierra-20190510180712-ntvo.html>
- Resende, G. M., Yuri, J. E., Costa, N. D., & Mota, J. H. (2016). Desempenho de cultivares de cenoura em sistema orgânico de cultivo em condições de temperaturas elevadas. *Horticultura Brasileira*, 34, 121-125. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160000100018>
- Robles, S. V. G. 2015. *Cultivo de Betabel (Beta vulgaris L.) Bajo Diferentes Niveles de Nutrición y Condiciones Ambientales* (Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7219>
- Sanabria, C. C. I., López, E. M., & Oviedo, M. D. S. (2020). Fertilización nitrogenada y potásica en el desarrollo del cultivo de la remolacha. *Revista Científica El Surco*, 3(2), 1-7.
- Villalba, L. M. P. R., Casuriaga, O. C., & Ocampo, F. D. V. (2022). Producción de remolacha en solución nutritiva recirculante, con utilización de formulaciones nutritivas en solución, y

- volumenes de contenedores. *Revista Científica El Surco*, 5(1), 25-33.
- Wang, X. G., Zhao, X. H., Jiang, C. J., Li, C. H., Shan, C. O. N. G., Di, W. U., & Wang, C. Y. (2015). Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photoprotection mechanisms in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Journal of Integrative Agriculture*, 14(5), 856-863. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60848-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60848-0)