






Aplicación de O₂ y O₃ en semilla pre-básica de papa (*Solanum tuberosum* L.)

O₂ and O₃ application in pre-basic seed potato (*Solanum tuberosum* L.)

Vicky Soledad Tineo Vargas^{1*} , Omar Paitamala Campos² , Daniel Claudio Matsusaka Quiliano² 

RESUMEN

La baja productividad de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Perú está estrechamente relacionada con el uso de semilla infectada y el acceso limitado a tecnologías de desinfección efectivas. Este estudio evaluó el efecto del sistema de microburbujas de ozono y oxígeno aplicado al riego sobre la calidad y el vigor de la semilla prebásica de papa (cv. INIA 303) en Canaán, Ayacucho, Perú. Se aplicaron cuatro tratamientos (T1: 100%, T2: 75%, T3: 50% nano-oxígeno; T4: control) bajo un diseño completamente aleatorizado. El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA y la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). Los resultados revelaron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) en la altura de la planta. A los 21 días, T1 ($17,24 \pm 0,43^a$ cm) superó significativamente a T4 ($10,02 \pm 0,95^c$ cm). A los 140 días, el T1 ($172,4 \pm 2,04$ cm) mantuvo el mayor rendimiento, seguido del T2 ($166,6 \pm 3,33$ cm), mientras que el T4 ($104,0 \pm 5,34$ cm) mostró el menor. En cuanto al peso de la semilla, el T1 produjo una mayor proporción de tubérculos >20 g, lo que contribuyó a un mejor rendimiento. Los hallazgos sugieren que la tecnología de oxigenación y ozonización mejora el crecimiento vegetativo, aumenta el rendimiento potencial y reduce la hipoxia y el estrés por patógenos, lo que representa una estrategia prometedora para mejorar la sanidad y la productividad de las semillas en la producción de semilla pre-básica de papa en condiciones de tierras altas andinas.

Palabras clave: Nano oxigenación, nano ozono, semilla pre-básica, *solanum tuberosum*, agricultura andina.

ABSTRACT

The low productivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Peru is closely linked to the use of infected seed and limited access to effective disinfection technologies. This study evaluated the effect of ozone and oxygen micro-nanobubble system applied to irrigation on the quality and vigor of pre-basic seed potato (cv. INIA 303) in Canaán, Ayacucho, Peru. Four treatments were applied (T1: 100%, T2: 75%, T3: 50% nano-oxygen; T4: control) under a completely randomized design. Statistical analysis was performed using ANOVA and Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Results revealed highly significant differences ($p < 0.0001$) in plant height. At 21 days, T1 (17.24 ± 0.43^a cm) significantly outperformed T4 (10.02 ± 0.95^c cm). At 140 days, T1 (172.4 ± 2.04^a cm) maintained the highest performance, followed by T2 (166.6 ± 3.33^{ab} cm), while T4 (104.0 ± 5.34^c cm) showed the lowest. In terms of seed quality, T1 produced a higher proportion of tubers >20 g, contributing to improved yield. The findings suggest that oxygenation and ozonation technology enhances vegetative growth, increases potential yield, and reduces hypoxia and pathogen stress, representing a promising strategy to improve seed health and productivity in pre-basic seed potato production under Andean highland conditions.

Keywords: Nano-oxygenation, nano-ozone, pre-basic seed, *solanum tuberosum*, andean agriculture.

¹Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Ayacucho, Perú.

²Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lima, Perú.

*Autor de correspondencia. E-mail: dmatsusaka@agro.uba.ar

I. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye un componente crítico en la seguridad alimentaria global, ocupando el cuarto lugar en producción tras el maíz, trigo y arroz (FAOSTAT, 2020). En Perú, la producción de papa alcanzó los 10.9 millones de toneladas y representó el 9.7% del VBP agrícola, siendo los principales departamentos productores Huánuco, Ayacucho y Puno que alcanzaron el 37% de volumen de producción y el 41 % de la superficie cosechada (MIDAGRI, 2023).

La calidad y producción de la semilla pre-básica, determinada por su calidad genética, la sanidad, el tamaño, el daño físico y la edad fisiológica (Haverkort et al., 2015), se ve comprometida por: (A) altos costos en infraestructura de invernaderos (US\$ 25/m²; CIP, 2019), (B) resiembra de semilla con patógenos acumulados (Orrego et al., 2017) y (C) persistencia de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* spp, en sustratos (García et al., 2018). Tecnologías emergentes basadas en ozono (O₃) ofrecen ventajas en eficacia en la desinfección (Pandiselvam et al., 2020), con ventajas comparativas frente a métodos químicos: (i) eficiencia microbicida (Bucio et al., 2016; Osorio, 2020; Cetinkaya et al., 2022 y (ii) mitigación de hipoxia: (Fukao et al., 2004; Thongo et al., 2010).

La tecnología basada en nano oxígeno y ozono ha demostrado mejoras en los rendimientos de los cultivos (Chen et al., 2011; Liu et al., 2019; Pandiselvam et al., 2020). En este contexto, la aplicación de nano ozono-oxígeno al agua para la producción de semilla pre-básica de papa podría constituir una solución efectiva para incrementar tanto el peso como la cantidad de semilla pre-básica producida, impactando directamente en el rendimiento del cultivo. Este estudio propone un sistema de nano-burbujas de ozono (O₃) para la desinfección de sustrato y de oxígeno (O₂) en el agua, aplicado a la producción de semilla pre básica de papa. Se evaluó en parámetros de altura de planta y peso en la variedad INIA 303-Canchan en el departamento de Ayacucho, Perú.

II. MATERIALES Y METODOS

Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Canaán, ubicado en el distrito Andrés Avelino Cáceres, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, Perú (13° 09' 45.69" W y 74° 12' 26.61" S, 2730 msnm)

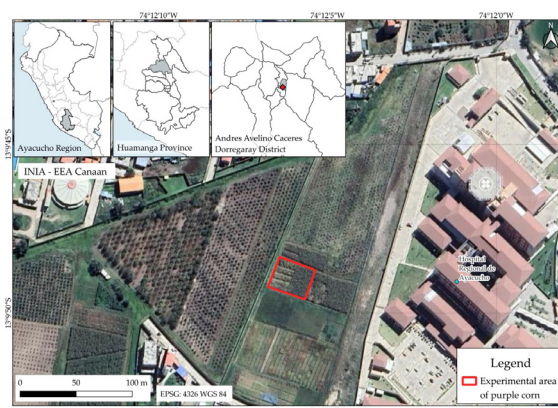


Figura 1. Ubicación del área experimental en la Estación Experimental Agraria Canaán, del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

Material Vegetal

Se utilizaron plántulas de papa variedad INIA 303 – Canchan, de 21 días de cultivo y que fueron obtenidas en condiciones de laboratorio de Cultivos in vitro. Se caracteriza por tener resistencia a enfermedades, buen rendimiento y tamaño en la cocina. (INIA, 1990)

Diseño experimental

El estudio empleó un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos de oxigenación: T1 (100 % nano-oxígeno), T2 (75 %), T3 (50 %) y T4 (control sin oxígeno), aplicados en unidades experimentales de 0.5 m². Cada unidad experimental contenía un sustrato compuesto exclusivamente por tierra negra. Previo a la siembra, todos los sustratos fueron desinfectados mediante ozonificación (generador QLA-10G-M, Ozone Generator) con micro-nanoburbujas (HLYZ-005, HOLLY), excepto el correspondiente al tratamiento control, siguiendo la metodología propuesta por Rivas & García (2022). La oxigenación se realizó dos veces por semana utilizando un sistema DEDAKJ DE-2A con

generador de nanoburbujas, evaluando su impacto en el desarrollo y rendimiento del cultivo.

Evaluación morfológica y rendimiento

La altura de planta se evaluó 21 días después de la siembra, considerando las cinco plantas más desarrolladas por bloque. La clasificación de los tubérculos obtenidos se realizó según el D.S. N.º 010-2018-MINAGRI, que establece cinco categorías de semilla pre-básica: semilla gruesa (>40 g), primera (30–39 g), segunda (20–29 g), tercera (10–19 g) y cuarta (1–9 g).

Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y Test de tukey ($\alpha = 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R versión 4.3.2

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Los tratamientos con nano-burbujas de ozono y oxígeno mostraron un impacto significativo en el desarrollo de *Solanum tuberosum* var. INIA 303- Canchan. Los análisis de varianza (ANOVA) mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) entre los tratamientos en todos los tiempos evaluados (21, 60, 80, 120 y 140 días). Las pruebas de Tukey (HSD, $p < 0.05$) revelaron los siguientes patrones clave: A los 21 días, T1 (17.24 ± 0.43^a) presentó mayor altura de planta, mientras que el T4 (10.02 ± 0.95^c) mostró los valores más bajos. A los 60 días, el T2 (28.68 ± 1.92^a) superó ligeramente al T1 (24.30 ± 3.17^{ab}), aunque sin diferencias significativas entre ellos. Entre los 80 y 120 días, T1, T2 y T3 formaron un grupo estadísticamente homogéneo con valores altos, mientras que T4 se mantuvo significativamente por debajo. A los 140 días, mostró que T1 (172.4 ± 2.04^a): obtuvo la mayor altura. Esto sugiere un efecto umbral, donde solo concentraciones elevadas de oxígeno disuelto estimulan el crecimiento vegetativo (Bhattarai et al., 2005; Weits et al 2021) y reducción de estrés por hipoxia (Abuarab et al., 2013). Allen et al., (1987) reportan que las semillas de 35 g produjeron más tallos, tubérculos y mayores rendimientos de semillas con tasas de semillas iguales que las semillas grandes (105 g).

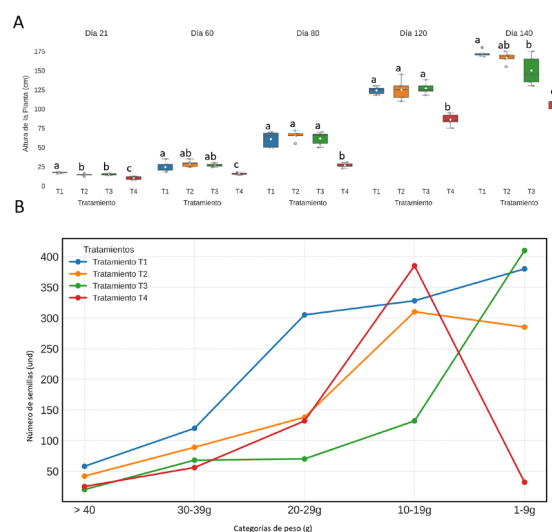


Figura 2. Parcelas con 150 plántulas de papa variedad INIA 303 a los 21 días. A) Altura de la Planta, B) Distribución de los pesos de semillas pre-básicas por tratamiento. Las letras diferentes muestran diferencias significativas entre las medias (Tukey test $p < 0,05$).

Los datos muestran que el tratamiento T1 produjeron una proporción significativamente mayor de tubérculos semilla gruesa, primera y segunda categoría, mientras que T4 presentó su mayor frecuencia en la categoría tercera (10–19 g) y T3 mostró una predominancia de semillas de cuarta categoría (1–9 g). Esto indica que T1 generó semilla de papa más grande en promedio, a diferencia de T2 y T3 produjeron principalmente semilla de mediano y bajo peso. Dado que los tubérculos semilla de mayor tamaño contienen más reservas nutritivas, se espera que T1 tenga el mayor rendimiento potencial. En efecto, como señalan Hirpa et al., (2010) y Bist, et al., (2023) la semilla de mayor tamaño (>35 mm) se asocia con un desempeño sobresaliente en rendimiento de papa comparado con semillas más pequeñas.

IV. CONCLUSIÓN

Los resultados evidencian que la oxigenación del agua de riego, mediante técnicas como las micro-nano burbujas y la oxigenación subsuperficial en el sustrato, tiene un efecto positivo en el crecimiento y vigor de la papa variedad INIA 303-Canchán. Estas tecnologías mejoran la respiración radicular, reducen el estrés por hipoxia y favorecen el desarrollo de un sistema radicular más robusto (Yu et al., 2022).

Asimismo, el uso de semillas de mayor tamaño incrementa significativamente el vigor inicial, el crecimiento fisiológico y el rendimiento final del cultivo. La implementación conjunta de tecnologías de oxigenación y estrategias de manejo sanitario en la producción de semilla prebásica representa una alternativa eficiente y sostenible para intensificar la producción en regiones andinas y suelos marginales.

IV. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que la investigación se llevó a cabo en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un posible conflicto de intereses.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abuarab, M., Mostafa, E. & Ibrahim, M. (2013). Effect of air injection under subsurface drip irrigation on yield and water use efficiency of corn in a sandy clay loam soil. *Journal of advanced research*, 4(6), 493-499.
- Allen, E. J. & O'Brien, S. A. (1987). An analysis of the effects of seed weight, seed rate and date of harvest on the yield and economic value of seed-potato crops. *The Journal of Agricultural Science*, 108(1), 165-182.
- Bhattarai, S. P., Su, N. & Midmore, D. J. (2005). Oxygenation unlocks yield potentials of crops in oxygen-limited soil environments. *Advances in agronomy*, 88, 313-377.
- Bist, L., Sharma, R., & Thakurathi, B. (2023). Effect of Seed Tuber Size on Growth and Yield of Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Variety Desiree in Dadeldhura. *Contemporary Research: An Interdisciplinary Academic Journal*, 6(2), 110-123.
- Bucio Villalobos, C. M., Díaz Serrano, F. R., Martínez Jaime, O. A. & Torres Morales, J. J. (2016). Efecto del ozono sobre la población microbiana del suelo y el crecimiento de plantas de fresa. *Terra Latinoamericana*, 34(2), 229-237.
- Cetinkaya, N., Pazarlar, S. & Paylan, I. C. (2022). Ozone treatment inactivates common bacteria and fungi associated with selected crop seeds and ornamental bulbs. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(12), 103480.
- Chen, X., Dhungel, J., Bhattarai, S. P., Torabi, M., Pendergast, L. & Midmore, D. J. (2011). Impact of oxygenation on soil respiration, yield and water use efficiency of three crop species. *Journal of Plant Ecology*, 4(4), 236-248.
- FAOSTAT. (2020) Production and Trade Statistics. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (accessed on 28 February 2020).
- Fukao, T. & Bailey-Serres, J. (2004). Plant responses to hypoxia—is survival a balancing act? *Trends in plant science*, 9(9), 449-456.
- García-Ávila, C. D. J., Valenzuela-Tirado, G. A., Florencio-Anastasio, J. G., Ruiz-Galván, I., Moreno-Velázquez, M., Hernández-Macias, B. & Ávila-Quezada, G. (2018). Organismos asociados a daños en tubérculos de papa en postcosecha. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(2), 308-320.
- Haverkort, A. J. & Struik, P. C. (2015). Yield levels of potato crops: recent achievements and future prospects. *Field Crops Research*, 182, 76-85.
- Hirpa, A., Meuwissen, M. P., Tesfaye, A., Lommen, W. J., Oude Lansink, A., Tsegaye, A. & Struik, P. C. (2010). Analysis of seed potato systems in Ethiopia. *American journal of potato research*, 87, 537-552.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (1990). Papa INIA 303 - Canchán Ministerio de Agricultura del Perú.
- Liu, Y., Zhou, Y., Wang, T., Pan, J., Zhou, B., Muhammad, T. & Li, Y. (2019). Micro-nano bubble water oxygenation: Synergistically improving irrigation water use efficiency, crop yield and quality. *Journal of Cleaner Production*, 222, 835-843.
- MIDAGRI (2023). Valor bruto de la producción agropecuaria regional. Dashboard temáticos. Dirección de Estadística e Información Agraria (DEIA) de la Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (DGESEP) del Ministerio de Desarrollo de

- Desarrollo Agrario y Riego. En: https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea_bi/index.html
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2023. Base de datos FAOSTAT. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/>
- Orrego, R.; Manrique, K.; Quevedo, M. & Ortiz, O. (2017). Mejorando la calidad de nuestra semilla de papa mediante la selección de las mejores plantas, selección positiva: Guía de campo para agricultores. Lima (Peru). Centro Internacional de la Papa (CIP). ISBN 978-92-9060-418-1. 74 p.
- Osorio, A. F (2020). Estudio de factibilidad para la introducción de la tecnología de desinfección con ozono para sustratos utilizados en agricultura de una empresa ubicada en la ciudad de Bogotá. Universidad Santo Tomás. Repositorio USTA <https://repository.usta.edu.co/items/e2d68f65-cae7-443c-8267-6be924ec20b8>
- Pandiselvam, R., Mayookha, V. P., Kothakota, A., Sharmila, L., Ramesh, S. V., Bharathi, C. P. & Srikanth, V. (2020). Impact of ozone treatment on seed germination—A systematic review. *Ozone: Science & Engineering*,42(4), 331-346.
- Pendergast, L., Bhattarai, S. P. & Midmore, D. J. (2013). Benefits of oxygenation of subsurface drip-irrigation water for cotton in a Vertisol. *Crop and Pasture Science*, 64(12), 1171-1181.
- Rivas Rubio, A. M. & García-Martín, S. (2022). El ozono es un potente agente desinfectante para el suelo que aplicado en las dosis adecuadas y con el método correspondiente para cada etapa del cultivo, otorga resultados favorables que se traduce en rentabilidad económica para el productor. [Documento 2704_panel]. 2704_panel_ARivas
- Thongo M'Bou, A., Saint-André, L., De Grandcourt, A., Nouvellon, Y., Jourdan, C., Mialoundama, F. & Epron, D. (2010). Growth and maintenance respiration of roots of clonal Eucalyptus cuttings: scaling to stand-level. *Plant and Soil*, 332, 41-53.
- Weits, D. A., van Dongen, J. T. & Licausi, F. (2021). Molecular oxygen as a signaling component in plant development. *New Phytologist*, 229(1), 24-35. <https://doi.org/10.1111/nph.16824>
- Yu, Z., Wang, C., Zou, H., Wang, H., Li, H., Sun, H. & Yu, D. (2022). The effects of aerated irrigation on soil respiration and the yield of the maize root zone. *Sustainability*,14(8), 4378.