ISSN 2007-1310

https://pcti.mx

Órgano Oficial de Difusión y Divulgación de la AMECTIAC

PCTI

Dr. Héctor Nolasco Soria, Editor en Jefe

Año 17, PCTI 259-SC-2026-11-13

¿Cada cuánto se nutre la zarzamora? Dinámica temporal de nitrato y calcio en tezontle y suelo para optimizar el fertirriego

Jorge Enrique Canales Almendares[1], José Terrones Salgado[1], Daniel Alonso Dominguez Olvera[3], Diana Marcela Cuestas Parra[4], María Angelica Ortiz Heredia[1-2*], Rubén López Salazar[5]

[1]Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, [2]Colegio de Postgraduados Campus Montecillos, herediang.16@gmail.com. [3]Universidad Nacional Autónoma de México, [4]Universidad de América, Bogotá, [5]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

Abstract

To determine how often nitrate and calcium are depleted in blackberry substrate, the concentrations of NO_3^- and Ca^{2+} (meq L^{-1}) were monitored for 37 days in 20 L containers with red tezontle and agricultural soil, with sampling from Monday to Friday for 24 observations per substrate. Suction probes were installed at 30 cm depth, and extraction was performed at field capacity. The actual daily rate was calculated as apparent extraction by TDR = (Ct-1 - Ct)/ΔDía. In tezontle, nitrate decreased by more than 70% in 24 h during the first week, with peaks of 6.61 meq L^{-1} d^{-1} between days 2 and 6, while in soil the curve was buffered. After day 15, both rates stabilized near zero. Calcium showed its maximum apparent extraction on day 33 with 5.1 meq L^{-1} d^{-1}. With a depletion threshold of <30% of the initial concentration, tezontle requires recharges every 1 to 2 days at the start and every 3 days thereafter, while soil allows 5-day intervals.

Keywords: *Rubus* spp., porous volcanic substrate, mineral nutrition, ion absorption, leaching, input saving..

Resumen

Para definir cada cuánto se agota realmente el nitrato y el calcio en zarzamora en tezontle comparado con suelo, se monitoreó la concentración de NO_3^- y Ca^{2+} en meq L^{-1} durante 37 días en contenedores de 20 L con tezontle rojo y suelo agrícola, con muestreo de lunes a viernes para 24 observaciones por sustrato. Se instalaron sondas de succión a 30 cm de profundidad y la extracción se realizó a capacidad de campo. Se calculó la tasa diaria real como extracción aparente mediante TDR=(Ct-1-Ct)/ΔDía. En tezontle, el nitrato disminuyó más de 70% en 24 h durante la primera semana, con picos de 6.61 meq L^{-1} d^{-1} entre los días 2 y 6, mientras en suelo la curva fue amortiguada. Después del día 15 ambas tasas se estabilizaron cerca de cero. El calcio mostró su máxima extracción aparente el día 33 con 5.1 meq L^{-1} d^{-1}. Con umbral de agotamiento de <30% de la concentración inicial, el tezontle requiere recargas cada 1 a 2 días al inicio y cada 3 días después, mientras el suelo permite intervalos de 5 días.

Palabras clave: *Rubus* spp., sustrato volcánico poroso, nutrición mineral, absorción iónica, lixiviación, ahorro de insumos.

Problemática

México es el principal productor mundial de zarzamora con 238,122 t en 2023, 90.2% en Michoacán (SIAP, 2024). Aunque aporta 20.7% del volumen nacional de frutillas (SIAP, 2024), su producción depende de sustratos importados que elevan hasta 40% los costos (Luna-Fletes et al., 2016). El tezontle rojo, es una roca volcánica porosa de baja densidad originaria del Eje Neovolcánico (Vargas-Tapia et al., 2008), considerada como una alternativa regional de bajo costo; sin embargo, su alta porosidad (>60%) favorece la lixiviación de nitrato (Taiz et al., 2015). Ante la falta de datos sobre la frecuencia diaria real de agotamiento de NO_3^- y Ca^{2+} en este sustrato, los programas de fertirriego se basan en calendarios fijos, provocando sobredosificación, pérdidas económicas y contaminación por lixiviación.

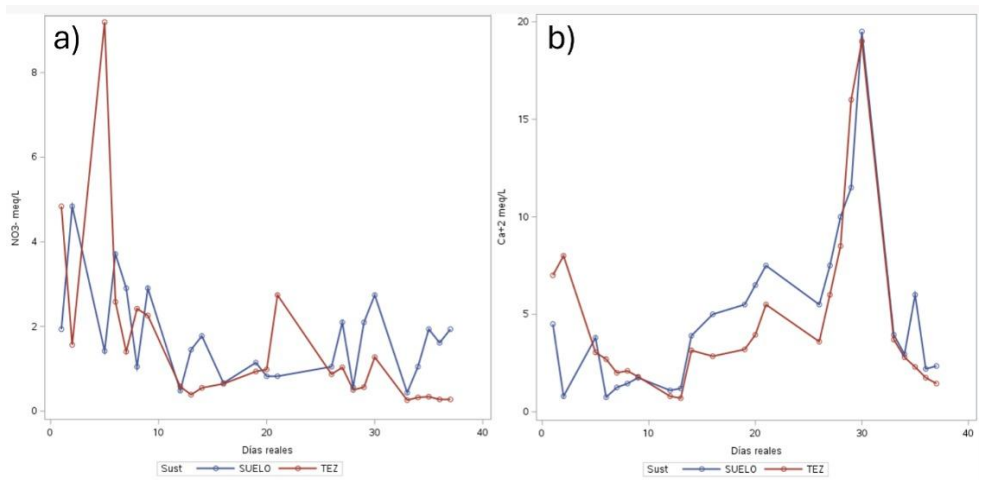


Figura 1. a) Dinámica de NO_3^- (meq/L) en zarzamora en tezontle y suelo durante 37 días. b) Dinámica de Ca^{2+} (meq/L) en zarzamora en tezontle y suelo durante 37 días.

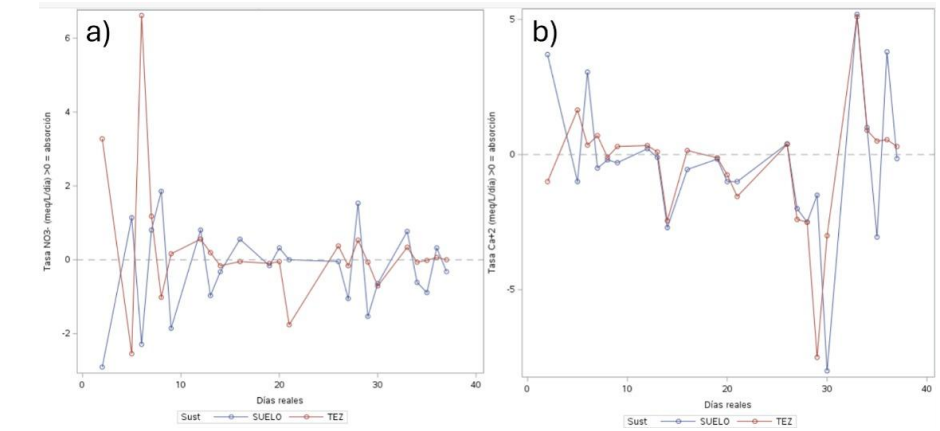


Figura 2. a) Tasa diaria aparente de NO_3^- (meq/L) corregida por Delta Día. corregida por ΔDía. Valores mayores a 0 significa disminución de la concentración / extracción aparente, menores a 0 significa que hubo recarga. b) Tasa diaria de extracción Ca^{2+} (meq/L) corregida por ΔDía. Valores mayores a 0 significa que hubo disminución, menores a 0 significa que hubo recarga.

Usuarios

Los productores de zarzamora de Michoacán y Jalisco, los técnicos de berries, viveristas y empresas de sustratos regionales.

Introducción

La zarzamora (*Rubus* spp.) es la segunda frutilla más importante en México y aporta cerca del 20.7% del volumen nacional de berries (SIAP, 2024). Su sistema productivo combina cultivo en suelo y en sustratos inertes, donde los materiales importados como peat moss y fibra de coco han sido la referencia por su estabilidad. Ante su alto costo, en el centro del país se ha evaluado el uso de materiales regionales como tezontle y piedra pómez, con posibilidad de reúso hasta tres ciclos para reducir costos de instalación (Luna-Fletes et al., 2021). Desde el punto de vista nutrimental, dos iones son críticos: el nitrato (NO_3^-), por su alta movilidad y susceptibilidad a lixiviación (Taiz et al., 2015) y el calcio (Ca_2^+), esencial para la estabilidad de paredes celulares y la firmeza postcosecha del fruto (Marschner, 2012). Este trabajo cuantifica el cambio de concentración en la solución del sustrato como extracción aparente, atribuible principalmente a la pllanta, sin cuantificar absorción real en tejido.

Objetivos

Los objetivos fueron evaluar la dinámica del NO_3^- y el Ca^{2+} en el cultivo de la zarzamora en tezontle y suelo, corregir efecto “fin de semana”, definir umbral de agotamiento y proponer la frecuencia de fertirriego.

Materiales y Métodos

Se evaluaron plantas de zarzamora (*Rubus* spp.) en contenedores de 20 L con dos medios de crecimiento: tezontle rojo y suelo agrícola, bajo un diseño de bloques completos con las mismas plantas durante 37 días. El muestreo se realizó de lunes a viernes, sin muestreo sábado y domingo por logística, obteniendo 24 observaciones efectivas por sustrato. Para la solución del sustrato se instalaron sondas de succión de 40 cm a 30 cm de profundidad. La extracción se realizó a capacidad de campo, a los 20 min post-riego en tezontle y a las 2 h en suelo, aplicando vacío de 0.5 a 0.8 bar con jeringa de 50 mL y cápsula cerámica porosa. La cuantificación de NO3- y Ca2+ se realizó por triplicado en 3 mL de solución con ionómetros (Horiba LAQUAtwin S070), registrando en mg L^{-1} y convirtiendo a meq L^{-1} mediante la fórmula: meq L^{-1} = mg L^{-1} / peso equivalente (NO_3^- = 62.0; Ca^{2+} = 20.04). La tasa diaria real se calculó como TDR = (Ct-1 - Ct) / ΔDía. Los valores positivos indican disminución de concentración en solución o extracción aparente, y los valores negativos incremento por recarga. Solo se interpreta como recarga asociada a fertilización cuando existe aplicación documentada; en caso contrario se reporta como incremento por evaporación o redistribución. El umbral de agotamiento se definió como <30% de la concentración inicial o <1.0 meq L^{-1} para NO_3^- y <2.0 meq L^{-1} para Ca^{2+}, con base en recomendaciones para berries (Vargas-Tapia et al., 2008). La frecuencia de fertirriego se derivó del tiempo necesario para alcanzar dicho umbral. El análisis se realizó en SAS Studio (DATA, SORT, MEANS y SGPANEL con BREAK para evitar interpolación viernes-lunes) y PROC MIXED para medidas repetidas con modelo Sustrato × Tiempo, bloque/planta como efecto aleatorio y comparación de Tukey (p<0.05).

Resultados y Discusión

En la Figura 1a muestra que la concentración media de nitrato durante los 37 días fue similar entre sustratos, con 1.73 meq L^{-1} en suelo y 1.53 meq L^{-1} en tezontle, pero la variabilidad en tezontle fue casi del doble, lo que evidencia su baja capacidad amortiguadora por su alta porosidad (Vargas-Tapia et al., 2008). Para calcio (Figura 1b) las medias fueron de 4.85 meq L^{-1} en suelo y 4.66 meq L^{-1} en tezontle, con picos de hasta 19.5 meq L-1 por acumulación tras riego. En ambos casos el suelo actúa como tampón y el tezontle no (FAO, 2015). Como resultado de calcular la tasa diaria real como TDR = (Ct-1 - Ct)/ΔDía, donde los valores positivos indicaron disminución en solución o extracción aparente, se observa que el nitrato en tezontle se agota más de 70% en 24 h durante la primera semana, con picos de hasta 6.61 meq L^{-1} d^{-1}, 3.5 veces mayores que en suelo, como en el caso del día 5 al 6 que pasó de 9.19 a 2.58 meq L^{-1}(Figura 2a). La correlación entre nitrato y calcio no fue significativa, por lo que cada ion se mueve de forma independiente, descartando la interpretación previa de balance por CIC. El calcio mostró un patrón distinto y más estable, con su máxima extracción aparente el día 33 con 5.1 meq L-1 d^{-1} (Figura 2b), coincidente con llenado de fruto, lo que sugiere reforzar su aporte al final sin afirmar causalidad con firmeza por falta de datos de fruto (Marschner, 2012). La dinámica comparada de ambos sustratos se sintetiza en la Figura 3, donde se observa el tiempo necesario para alcanzar el umbral de agotamiento definido como <30% de la concentración inicial. El tezontle alcanza dicho umbral en 1-2 días durante la primera semana, cuando la demanda de nitrato es máxima, y cada 3 días posteriormente, mientras que el suelo lo hace aproximadamente cada 5 días. Para Ca_2^+ la ventana crítica se ubica entre los días 30 y 35, por lo que la programación diferenciada del fertirriego debe concentrar el aporte de calcio al final del ciclo. Esta diferencia sustenta la necesidad de frecuencias distintas por sustrato y justifica la corrección del ΔDía en fines de semana.

Conclusiones

En el cultivo de zarzamora, el tezontle rojo y el suelo agrícola necesitan un manejo de fertirriego diferente. El suelo amortigua los cambios y mantiene los nutrientes más estables, mientras que el tezontle, por su alta porosidad, se agota más rápido. En la primera semana, el nitrato en tezontle puede disminuir más del 70% en 24 horas, con extracciones hasta 3.5 veces mayores que en suelo. Por ello, en tezontle se recomienda reponer cada 1-2 días al inicio y cada 3 días después, y en suelo cada 5 días para nitrato. El calcio se comporta distinto: su mayor extracción ocurre al final, alrededor del día 33, durante el llenado del fruto. Por lo tanto, conviene reforzar su aporte entre los días 30 y 35. Sin embargo, no se puede afirmar que esto afecte la firmeza del fruto, pues esa variable no fue medida.

Impacto Socioeconómico

México produce más de 238 mil t de zarzamora (SIAP, 2024). El uso de tezontle local, reportado con ahorro por sustitución de sustratos importados (Luna-Fletes et al., 2016), reduce lixiviación y costos. El ajuste de fertirriego por TDR permite ahorrar fertilizante y mejorar manejo de calcio para firmeza.

Artículo completo en https://pcti.mx
Contacto PCTI: hnolascosoria@gmail.com

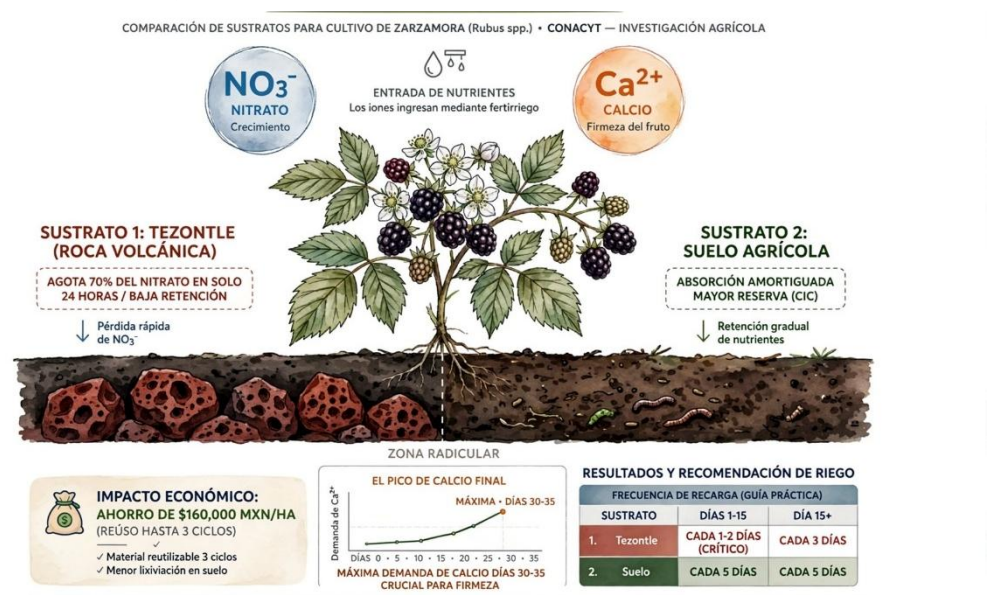


Figura 3. Dinámica de nutrientes entre los sustratos tezontle suelo.