

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LA PRODUCCIÓN Y ABSORCIÓN DE NITRÓGENO DE UN CULTIVO DE FRAMBUESA

Vidal, E.^{1,2}; Gavilán, P.³; López, A.²; Gómez-Mora, J.A.¹; Ruiz, N.³; Miranda, L.¹

¹IFAPA Centro Las Torres-Tomejil, Finca Experimental El Cebollar (Moguer). Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica, CAPADR, Junta de Andalucía

²Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba

³IFAPA Centro Alameda del Obispo. Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica, CAPADR, Junta de Andalucía

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de un ensayo de fertirriego realizado en un cultivo de frambuesa remontante en la provincia de Huelva. Se evaluó el efecto de diferentes dosis de nitrógeno (N) sobre la producción y se caracterizó la absorción de nitrógeno por la planta y el fruto. El nitrógeno aplicado en una campaña con dos cosechas, incluyendo el presente en el agua de riego y el abonado de fondo, varió entre 213 y 346 UF ha⁻¹. La reducción de la fertilización nitrogenada en un 25%, respecto a un abonado convencional, no produjo una disminución del rendimiento. Tampoco se observaron diferencias entre tratamientos con relación a las extracciones de N por parte de las plantas y los frutos.

Palabras clave: *fertirriego, eficiencia de aplicación, contaminación difusa, frutos rojos.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la superficie ocupada por la frambuesa (*Rubus idaeus* L.) en la provincia de Huelva ha aumentado notablemente, llegando a ser una alternativa al cultivo de la fresa. Un manejo adecuado de la fertirrigación de este cultivo es imprescindible para reducir el impacto ambiental del regadío en la zona. Los fertilizantes aplicados al cultivo mediante fertirriego tienen una relación directa con el nivel de rendimiento, con lo cual el programa de fertilización a emplear debe ser específico (Hirzel y col., 2008). Un estudio previo realizado sobre un cultivo de frambuesa remontante, en la finca “El Cebollar” del IFAPA de Huelva, demostró que una dosis en fertirriego de 291 UF de N ha⁻¹ durante el ciclo completo del cultivo, lo que equivale a un 22% menos del N aportado en un tratamiento convencional, no provocó descensos significativos de la producción (Gómez y col., 2020). Estos resultados indican que existe todavía margen para la mejora de la fertirrigación, que, ajustada a las necesidades de la planta, puede suponer impor-

tantes ahorros de fertilizantes, además de reducir la contaminación difusa sin perjudicar la producción. A la vista de lo anterior, se planteó la necesidad de realizar un ensayo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada con el objetivo de conocer su efecto sobre la producción. Además, se caracterizó la extracción de nitrógeno por la planta. La absorción de nutrientes en el cultivo sirve como referencia para planificar la fertilización por restitución (Galindo y col., 2011; Greenwood, 1983), además de resultar útil para conocer la eficiencia del uso de los fertilizantes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tratamientos de fertirriego

El ensayo se realizó en la Finca Experimental del IFAPA de “El Cebollar”, en el TM de Moguer (Huelva), durante la campaña 2020/2021 (Foto 1). Se utilizaron plantas de la cultivar remontante *Adelita*, con dos cosechas. El cultivo se plantó a mediados de junio de 2020 (Foto 2). El primer ciclo finalizó a mediados de enero de 2021, fecha en la que se realizó la poda (Foto 3). El segundo ciclo finalizó en junio del mismo año, dándose por terminada la campaña. Cada parcela experimental, de 11,15 m de longitud y un ancho de 2,4 m, estuvo equipada con una cinta de riego de 16 mm de diámetro y un caudal nominal de $5 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ lineal, con emisores dispuestos cada 20 cm. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los Tratamientos A, C y D se regaron con el objetivo de cubrir las necesidades de agua del cultivo de acuerdo con la metodología FAO (Allen y col. 1998), usando la aplicación móvil Riego Berry desarrollada por el IFAPA. En el Tratamiento B el riego se aplicó en función de los contenidos de humedad volumétricos medidos con sondas FDR instaladas a 10 cm de profundidad. El riego aplicado se midió con contadores volumétricos y el drenaje se midió de forma automática usando 4 lisímetros de drenaje (uno por tratamiento) de $0,45 \text{ m} \times 1,66 \text{ m} \times 0,55 \text{ m}$. Los lisímetros sirvieron, además, para la toma de muestras de agua de drenaje y su posterior análisis (Foto 4). El Tratamiento C se consideró como el tratamiento testigo en lo que a fertilización se refiere, aplicándose un programa de fertirriego basado en una estimación de las necesidades mensuales teóricas del cultivo en base a los resultados de la campaña anterior (Gómez y col., 2020), considerando un volumen de riego aplicado en el primer y segundo ciclo de 2.661 y $2.588 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente (Tabla 1). Este tratamiento se puede considerar un estándar en la zona. Los Tratamientos A, B y D aplicaron, respectivamente, el 125%, 100% y 75% de la fertilización nitrogenada del Tratamiento C.

TRATAMIENTO	RIEGO	FERTILIZACIÓN
A	FAO-Riego Berry	125%
B	Sonda FDR	100%
C	FAO-Riego Berry	100% (*)
D	FAO-Riego Berry	75%

(*) El tratamiento C se considera el testigo con una aplicación del 100% de las necesidades nutritivas.



2.2 Determinaciones experimentales

■ Determinación de la concentración de nitratos (NO_3^-)

El contenido de nitratos de la solución fertilizante en el agua de riego aplicada se determinó dos veces al mes mediante el análisis químico de los nutrientes aplicados por fertirrigación. La extracción de muestras de la solución del suelo se realizó usando sondas de extracción de humedad de suelo tipo *Rhizon* colocadas a 10 y 30 cm de profundidad y sondas de succión de cápsula cerámica *Irrometer* instaladas a 20 cm (Foto 5). Estas últimas permitieron un análisis rápido de NO_3^- de la solución del suelo. Además, periódicamente, se analizó también el contenido en nitratos del agua de drenaje de los lisímetros.

■ Absorción de nitrógeno (N) del material vegetal

Al final de cada ciclo se determinó el contenido de N de muestras de hojas y órganos leñosos mediante la técnica de cromatografía de gases (EuroVector Elemental Analyzer EA3000). También se determinó el nitrógeno total de una muestra representativa de frutos de los cuatro tratamientos procedentes de la cosecha del segundo ciclo mediante la técnica Kjeldahl por titulación volumétrica. Las extracciones de N en estructuras leñosas y hojas fueron estimadas separadamente para cada tratamiento a partir del producto de la biomasa seca y la concentración de N en cada órgano. En el caso de los frutos, en los cálculos se asumió la misma concentración de N y ratio de materia seca/materia fresca para todos los tratamientos.

■ Producción del cultivo e indicadores del riego y fertilización

Con el objetivo de cuantificar el rendimiento en cada tratamiento, el cultivo se recolectó 2-3 veces por semana durante el primer y segundo ciclo del cultivo. La cosecha se clasificó en dos categorías: 'Primera', con mayor valor comercial, y 'Segunda' (fruta de menor tamaño o deformada). Por otro lado, se determinó la productividad del agua de riego para cada tratamiento, indicador económico del uso del agua de riego definido como la relación entre el rendimiento total del cultivo (cosecha de 'Primera' y 'Segunda' categoría) y el volumen de riego aplicado (Gavilán y col., 2022). Se evaluó la eficiencia en el uso del fertilizante nitrogenado a partir de la relación entre el N exportado por el cultivo (incluyendo el fruto y todos los órganos vegetativos de la planta) y las UF totales aplicadas de este elemento para cada tratamiento. Finalmente, la productividad de la fertilización nitrogenada (kg UF N^{-1}) se calculó como la relación entre la producción total (kg ha^{-1}) y la fertilización nitrogenada de cada uno de los tratamientos (UF N ha^{-1}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Volúmenes de riego y UF aplicadas

La campaña completa tuvo una duración de 357 días. El Tratamiento B (riego automático)



fue el que aplicó el menor volumen de riego ($4.557 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), con una diferencia del 12% con respecto a la media del resto de los tratamientos A, C y D, que aplicaron una cantidad media de $5.180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Tabla 2). Considerando las Unidades Fertilizantes aportadas por el agua de riego, la solución nutritiva y el abonado de fondo realizado al inicio de la campaña, las UF totales aportadas de cada elemento fueron las mostradas en la Tabla 2. Las cantidades totales de N aportadas en el Tratamiento C fueron de 276 UF N ha^{-1} , resultado de sumar las 226 UF N provenientes del fertirriego (49 UF N ha^{-1} del agua de riego y 177 UF N ha^{-1} del fertilizante) y las 50 UF N incorporadas por el abonado de fondo. Las cantidades totales de N aportadas en los otros tratamientos fueron de 346 UF N ha^{-1} en el Tratamiento A (32% superior al Tratamiento C), 262 UF N ha^{-1} en el Tratamiento B (5% inferior) y 213 UF N ha^{-1} en el Tratamiento D (23% inferior).

El volumen total de agua de drenaje varió entre los 733 y los $800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de los Tratamientos B y A, respectivamente, lo que supone un porcentaje medio de drenaje del 15% (Tabla 3). La cantidad de agua drenada en el Tratamiento B (riego automatizado) fue un 6% inferior a la del resto de tratamientos, los cuales drenaron una media de $782 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. El Tratamiento B tuvo la menor lixiviación de nitratos (46 UF N ha^{-1}), seguido de los Tratamientos D (53 UF N ha^{-1}) y C (57 UF N ha^{-1}). Como era de esperar, la mayor cantidad de N drenado se recogió en el lisímetro del Tratamiento A (65 UF N ha^{-1}).

El menor volumen de agua aplicada al Tratamiento B produjo un menor drenaje, por lo que los nitratos lixiviados disminuyeron por unidad de superficie, debido a una mejora en la eficiencia del riego frente al resto de tratamientos. La reducción en las pérdidas de nitratos en el Tratamiento D fue consecuencia directa de la menor fertilización nitrogenada en dicho tratamiento.


Extracción de N del material vegetal

El análisis estadístico reveló que no hubo diferencias significativas entre tratamientos con relación a la extracción de N en ninguno de los órganos de la planta (Tabla 4). Los tratamientos A y C tuvieron la mayor cantidad de N absorbida en ramas (46 kg N ha^{-1}), seguido del B (38 kg N ha^{-1}) y el D (36 kg N ha^{-1}). Por su parte, el N absorbido en hojas fue máximo en C (70 kg N ha^{-1}) y mínimo en B (60 kg N ha^{-1}). En cuanto a la cantidad de N absorbida en los frutos, el Tratamiento A extrajo la mayor cantidad de N (36 kg N ha^{-1}) y el Tratamiento C la menor (33 kg N ha^{-1}). Las cantidades totales de N absorbidas en los órganos aéreos (i.e. frutos, ramas y hojas) oscilaron entre 134 (Tratamiento B) y 149 kg N ha^{-1} (Tratamiento C). De nuevo, estas diferencias entre tratamientos no resultaron significativas. El 60% de estas cantidades fueron extraídas durante el primer ciclo y el 40% restante, durante el segundo.

Assumiendo que la cantidad de N absorbida por el sistema radical constituye el 20% del total absorbido por la planta, la extracción total del cultivo media de los cuatro tratamientos ascendería a 177 kg N ha^{-1} . De acuerdo con esta asunción, el Tratamiento D tuvo la mayor eficiencia en el uso del fertilizante nitrogenado (80%) respecto al resto de tratamientos del ensayo (Tabla 5).

Producción del cultivo e indicadores de riego y fertilización

A pesar de las diferencias en la fertilización aplicada a los diferentes tratamientos del ensayo, no hubo diferencias significativas en la producción de Primera categoría, alcanzándose producciones superiores a 35 t ha^{-1} en todos los tratamientos (Tabla 6). Tampoco hubo diferencias significativas entre tratamientos en la producción de Segunda categoría. Los tratamientos C (4.224 kg ha^{-1}) y B (3.773 kg ha^{-1}) obtuvieron el mayor y menor % de frutos de segunda categoría, respectivamente (11% en el Tratamiento C y 9% en el B). Los tratamientos A y D produjeron un 10% de cosecha de segunda. La productividad del agua de riego varió entre los $9,2 \text{ kg m}^{-3}$ del Tratamiento B y los $7,5 \text{ kg m}^{-3}$ del Tratamiento C. Finalmente, fue calculada la productividad de la fertilización nitrogenada. Como era de esperar el Tratamiento D resultó ser el de mayor productividad, alcanzando valores de $185 \text{ kg UF de N}^{-1}$, y el Tratamiento A el de menor productividad ($123 \text{ kg UF de N}^{-1}$). Se observó, además, una alta correlación entre la eficiencia del uso del N y la productividad de la fertilización nitrogenada (Figura 1).



“El principal resultado del ensayo es que el tratamiento más restrictivo en aplicación de N no provocó una reducción significativa de la producción”.

CONCLUSIONES

El principal resultado del ensayo es que el tratamiento más restrictivo en aplicación de N no provocó una reducción significativa de la producción. Por tanto, existen, a priori, posibilidades para reducir el uso de N sin afectar negativamente a los rendimientos. Las cantidades de N lixiviadas demuestran que es posible optimizar el manejo del agua y el fertilizante nitrogenado sin afectar significativamente al rendimiento, lo que reduciría la contaminación difusa, además de ahorrar fertilizantes. Considerando que el cultivo se ubica en una zona vulnerable a la contaminación por nitratos, los resultados justifican la necesidad de optimizar el manejo de la fertirrigación. La extracción total de N en la biomasa aérea del cultivo alcanza un valor promedio de 141 kg N ha^{-1} . Las hojas y estructuras leñosas presentaron mayores concentraciones de N que los frutos y son responsables de la mayor parte de la extracción de N por parte del cultivo. No hubo diferencias significativas entre tratamientos en la absorción de N en la biomasa aérea total. Finalmente, dado que los tratamientos más restrictivos en N y riego no produjeron reducciones del rendimiento, parece necesario que futuros trabajos consideren aplicaciones más limitantes, evaluando las posibles repercusiones económicas para los agricultores del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements; FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56; FAO: Rome, Italy.

GALINDO-REYES, M.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V.; LÓPEZ-JIMÉNEZ, A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; SOTO-HERNÁNDEZ, M.; MURATALLA-LÚA, A. 2011. Concentración y acumulación de N, P y K en frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) manejada a dos cosechas anuales. *Terra Latinoamericana*, 29(2): 143-151.

GAVILÁN, P.; GÓMEZ-MORA, J.A.; MOLINA, F.; LOZANO, D.; RUIZ, N.; MIRANDA, L. 2022. Optimización del fertirriego en un cultivo de fresa. Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica CAGPDS. Junta de Andalucía. Córdoba. pp 1-16.

GÓMEZ-MORA, J. 2020. Evaluación de diferentes estrategias de riego y fertilización en el cultivo de la frambuesa; en Suarez, E.; Gavilán, P.; Miranda, L.; Gómez-Mora, J.; Molina, F. Difusión de los resultados obtenidos en el estudio del fertirriego en los cultivos de fresa, frambuesa y arándano en la campaña 2019/20. Junta de Andalucía, CAPDR, IFAPA.

GREENWOOD, D. J. 1983. Quantitative Theory and the Control of Soil Fertility. *The New Phytologist*, 94(1), 1–18.

HIRZEL, C.; JUAN Y MORALES A.; GLORIA, C. 2009. *Fertilización en el cultivo de la frambuesa* [en línea]. Villa Alegre, Chile: Informativo INIA Raihuen. no. 44.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto Sectorial de Transferencia de Tecnología y Cooperación “Producción Sostenible en el Cultivo de la Fresa y Otros Frutos Rojos” (PP.TRA.TRA2019.004), cofinanciado con Fondos FEDER dentro del Programa Operativo FEDER de Andalucía 2014-2020. Por otra parte, el Prof. Francisco Villalobos financió las determinaciones de concentración de N en los órganos aéreos.

FOTOGRAFÍAS



Foto 1. Alomado previo a la plantación.



Foto 2. Plantación del cultivo de frambuesa.



Foto 3. Cultivo de frambuesa recién podado.



Foto 4. Recogida del agua de drenaje de los lisímetros para su posterior análisis químico.



Foto 5. Extracción de la solución del suelo mediante sondas de succión.

TABLAS

Tabla 1. Programa mensual de fertilización (UF ha⁻¹) del Tratamiento C, incluyendo la previsión del riego (R) a aplicar (m³ ha⁻¹) y la conductividad eléctrica de la solución fertilizante (dS m⁻¹) durante la campaña completa del cultivo.

UF/HA	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY
N	0,05	6,19	22,1	29,3	29,2	25,6	16,9	0,08	8,83	22,8	20,9	12,2
P ₂ O ₅	0	3,26	11,6	15,9	14,7	12,8	8,47	0,38	4,66	12,3	10,9	7,11
K ₂ O	0,47	8,24	29,4	40,2	61,9	53,5	35,6	1,11	11,8	31,1	46,8	32,6
CaO	0	3,39	12	13,9	11	10,6	6,71	0	4,82	11,1	5,64	0
MgO	0	2,04	7,25	8,70	7,68	7,15	4,59	0	2,91	6,89	4,49	0,23
R (m ³ ha ⁻¹)	69	86	313	603	620	467	331	172	124	444	642	827
CE (dS m ⁻¹)	0,33	0,87	0,86	0,69	0,73	0,79	0,76	0,33	0,86	0,71	0,60	0,45

Tabla 2. Volúmenes de agua de riego (m³ ha⁻¹) y Unidades Fertilizantes (UF ha⁻¹) totales aportados en cada tratamiento durante la campaña completa, considerando las concentraciones de los nutrientes en el agua, las cantidades aplicadas con los fertilizantes y las incorporadas por el abono de fondo.

TRATAMIENTO	RIEGO (M ³ HA ⁻¹)	UNIDADES FERTILIZANTES (UF HA ⁻¹)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAO	MGO
A	5.101	346	189	552	267	114
B	4.557	262	161	460	230	99
C	5.245	276	161	464	242	105
D	5.195	213	133	376	214	95

Tabla 3. Volumen de agua drenada (m³ ha⁻¹) y UF de N drenadas por ha en cada tratamiento durante la campaña completa.

TRATAMIENTO	VOLUMEN DE AGUA DRENADA	UF DE N DRENADAS
A	800	65
B	733	46
C	774	57
D	773	53

Tabla 4. Extracciones de N en órganos leñosos, hojas, frutos y total de biomasa aérea (kg N ha⁻¹) en la campaña completa.

TRATAMIENTO	ESTRUCTURAS LEÑOSAS	HOJAS	FRUTOS	TOTAL DE BIOMASA AÉREA
A	46 ± 7,41	63 ± 9,35	36 ± 3,57	145 ± 5,80
B	38 ± 5,10	60 ± 11,9	35 ± 2,92	134 ± 9,36
C	46 ± 7,54	70 ± 6,92	33 ± 2,10	149 ± 12,8
D	36 ± 3,89	66 ± 4,61	34 ± 3,36	136 ± 1,17

Tabla 5. Eficiencia en el uso del fertilizante nitrogenado (%) en cada tratamiento en la campaña completa, calculada como la relación entre N extraído por el cultivo y el total aportado, y eficiencia del uso del agua de riego.

TRATAMIENTO	EFICIENCIA EN EL USO DE N (%)	EFICIENCIA DEL RIEGO (%)
A	52	84
B	64	84
C	68	85
D	80	85

Tabla 6. Producción de Primera categoría (kg de fruta ha⁻¹), productividad del agua de riego (kg de fruta m⁻³) y productividad de la fertilización nitrogenada (kg UF⁻¹ de N) de cada tratamiento, en la campaña completa.

TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN		PRODUCTIVIDAD DEL RIEGO (KG M ⁻³)	PRODUCTIVIDAD DE LA FERTILIZACIÓN N (KG UF ⁻¹ DE N)
	PRIMERA CATEGORÍA (KG HA ⁻¹)	% SEGUNDA CATEGORÍA		
A	38.437 ± 4.396	10	8,4	123
B	38.038 ± 3.081	9	9,2	159
C	35.266 ± 1.904	11	7,5	143
D	35.860 ± 4.075	10	7,6	185

FIGURAS

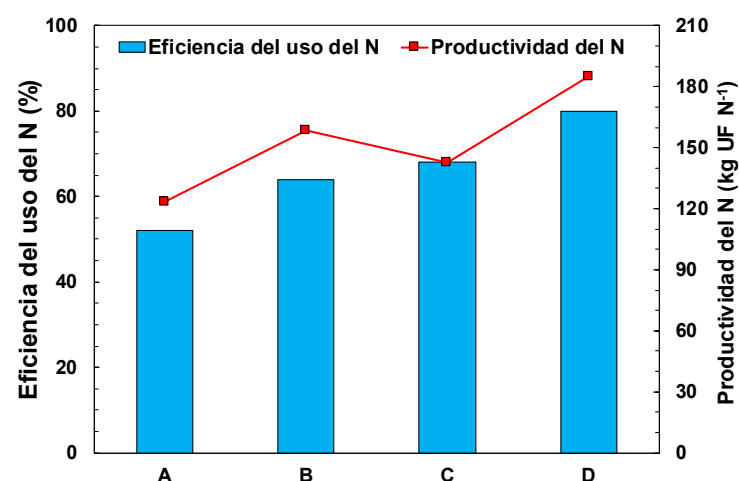


Figura 1. Eficiencia del uso de nitrógeno y productividad de la fertilización nitrogenada de los diferentes tratamientos del ensayo.

