

EXTRACCIONES DE NITRÓGENO, EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD *de un cultivo de fresa*

Para mejorar la eficiencia en el uso del abonado nitrogenado es imprescindible conocer las extracciones del cultivo y, así, optimizar los programas de fertilización. El estudio del nitrógeno exportado por un cultivo de fresa, a lo largo de su ciclo de crecimiento, aporta valores alrededor de 200 UF ha^{-1} de nitrógeno, de los cuales el 27% fue acumulado en el fruto y el 63% en la parte vegetativa aérea.

RUIZ, N.¹, MIRANDA, L.², GÓMEZ-MORA, J.A.², GAVILÁN, P.¹

¹ Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Centro “Alameda del Obispo”

² IFAPA. Centro Las Torres-Tomejil. Finca Experimental El Cebollar

El cultivo de los frutos rojos en Huelva es un motor social y económico que se enfrenta en los últimos años al reto de su sostenibilidad ambiental, económica y social. La incontrolada aplicación de riego y fertilizante nitrogenado ha contribuido, en muchas zonas, a la sobreexplotación de acuíferos y a la contaminación difusa, respectivamente, con un aumento de la superficie calificada como Zona Vulnerable a la contaminación por nitratos (Orden 23 noviembre 2020, Junta de Andalucía). Esto, unido a la cercanía al Parque Nacional de Doñana, aumenta la vigilancia ambiental desde la UE, puesto que este humedal de gran valor ecológico está calificado por la UNESCO como Patrimonio Mundial desde 1994.

Una vez afrontado el reto de la optimización del riego, en el que el IFAPA ha invertido más de 10 años de investigación, experimentación y transferencia, y que ha culminado con la creación de la App Riego Berry (Gavilán y col., 2020), resulta prioritario avanzar en el conocimiento de



Preparación de las muestras para determinación de biomasa y contenido en nitrógeno.

las cantidades óptimas de abonado para el cultivo de los frutos rojos. La elaboración de un programa de fertirrigación requiere del conocimiento de las necesidades de nutrientes del cultivo y de su fraccionamiento a lo largo del ciclo productivo. Por ello, se

han realizado ensayos de optimización de la fertilización con reducciones progresivas del abonado nitrogenado sin pérdidas productivas en los tres cultivos principales, arándano, frambuesa (Vidal, *et al.* 2022) y fresa (Miranda *et al.*, 2021).

TABLA 1

Valores de tres campañas de riego aplicado, evapotranspiración de cultivo (ET_c), eficiencia de aplicación del riego (E_a), rendimiento (Y) y productividad del agua de riego (PAR) en los escenarios de riego del agricultor y de la recomendación de Riego Berry (IFAPA). Se especifican las UFN totales aportadas en el fertirriego (incluido el N que aporta el agua sin abono) y la productividad de la fertilización nitrogenada (PFN). Entre paréntesis se indica la duración de cada campaña.

	RIEGO AGRICULTOR ($m^3 ha^{-1}$)	RIEGO IFAPA ($m^3 ha^{-1}$)	ET_c ($m^3 ha^{-1}$)	E_a AGRICULTOR (%)	E_a IFAPA (%)	Y ($kg ha^{-1}$)	PAR AGRICULTOR ($kg m^{-3}$)	PAR IFAPA ($kg m^{-3}$)	UFN TOTALES ($kg ha^{-1}$)	PFN ($kg UFN^{-1}$)
C20/21 (230)	6.113	3.953	3.118	51	80	78.903	12,9	20,0	255	310
C21/22 (211)	6.514	3.644	2.606	40	70	73.740	11,3	20,2	294	251
C22/23 (223)	6.985	4.335	3.396	49	77	66.144	9,5	15,3	260	255

Existen algunos trabajos sobre la absorción de nitrógeno por los distintos órganos de la planta y su evolución a lo largo del ciclo de desarrollo del cultivo (Strik y Finn, 2012; Rempel *et al.*, 2004). El análisis de la dinámica de absorción de nutrientes se basa en relacionar el contenido de elementos en cada órgano de la planta con la acumulación de biomasa en las diferentes etapas del cultivo. El conocimiento de los periodos de absorción y la acumulación de nutrientes en fresa permitirá un mejor ajuste y gestión de los programas de fertilización en este cultivo.

En este trabajo se presenta un estudio del fertirriego de un cultivo fresa, determinándose las extracciones de nitrógeno por la planta. Se determinó la cantidad de nitrógeno que absorben los diferentes órganos vegetales para poder plantear cantidades óptimas de fertilización en función de los requerimientos del ciclo del cultivo.

Metodología

El trabajo se ha desarrollado en una finca comercial de la provincia de Huelva sobre un cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.), plantada el 19 de octubre de 2022, cuya recolección finalizó el 30 de mayo de 2023. El clima de la zona es mediterráneo con verano seco y caluroso, y los valores medios de las temperaturas medias, máximas y mínimas son 17,8, 36,5 y 14,1°C, respectivamente. El suelo tiene un 98% de arena y se califica como arenoso según la USDA. Los invernaderos de fresa, macrotúneles parabólicos de 70 x 6.6 m² y 3 m de altura, disponen de 6 caballones de

cultivo, con una densidad de 72.800 plantas ha⁻¹. El sistema de riego es localizado, con una cinta de riego por lomo que aplica un caudal de 7,5 l h⁻¹ m⁻¹. El seguimiento del fertirriego se ha efectuado en dos túneles, durante tres campañas, desde 2021 hasta 2023. El riego y el abono aplicados a la parcela han sido decididos por el agricultor basándose en su experiencia. En este trabajo se presentan los resultados de las exportaciones de nitrógeno de la última campaña y un análisis comparativo de todo el periodo de trabajo.

Se instalaron dos caudalímetros que midieron el volumen de agua entrante en cada invernadero. El riego aplicado se comparó con la recomendación de riego ofrecida por la aplicación Riego Berry.

La cantidad de nitrógeno aportada por el fertirriego se determinó conociendo el tipo y cantidad de compuesto utilizado por el agricultor y midiendo el nitrógeno que incorpora el agua sin abono y que supuso de media unos 50 kg ha⁻¹. Por otro lado, se estimó la cantidad de N disponible en la enmienda orgánica incorporada tres meses antes de la plantación, que fue aproximadamente de 59 kg ha⁻¹. La mineralización de la materia orgánica no se consideró dado el bajo porcentaje de materia orgánica del suelo. Por último, se analizó el contenido de N mineral en el suelo al inicio y al final del cultivo.

Se instalaron dos lisímetros de drenaje, uno en cada túnel de seguimiento, que recogieron el volumen de agua drenada cada semana. Los lisímetros son contenedores en los que se

desarrolla el cultivo, construidos de poliéster reforzado con fibra de vidrio (0,40 m x 1,64 m x 0,60 m). De esta forma, tanto las necesidades de agua del cultivo (ET_c) como la eficiencia del riego pudieron ser estimadas mediante un balance de agua en el suelo. Para determinar la cantidad de N extraída por la planta, se recogieron 10 plantas por túnel cada 45 días, realizándose cinco muestreos. Se separaron la parte aérea, la raíz y el fruto, pesándose la biomasa fresca y la biomasa seca después de eliminar la humedad durante 48 horas en una estufa a 70°C. Posteriormente, se preparó una submuestra de cada órgano para la determinación del porcentaje de N en laboratorio, mediante la metodología de análisis elemental por combustión y posterior cromatografía para la determinación del nitrógeno. Por último, se contabilizó la producción de primera y segunda categoría ($kg ha^{-1}$), y se determinaron los indicadores de eficiencia (%) y productividad del agua de riego y de la fertilización nitrogenada ($kg m^{-3}$ y $kg UFN^{-1}$, respectivamente).

Resultados

- Estudio del riego y abonado

Los riegos medidos con los contadores fueron 6.985 m³ ha⁻¹ (Tabla 1) y 7.317 m³ ha⁻¹, lo que supone una diferencia de menos del 5%, inferior a la incertidumbre del instrumental. Para el análisis, se utilizó el valor medido en el primer invernadero. La aplicación Riego Berry recomendó 4.335 m³ ha⁻¹ para esta parcela, siendo un 38% inferior a la media del volumen conta-

bilizado por los contadores (Tabla 1). El análisis del riego a lo largo del ciclo de cultivo indica que el aplicado por el agricultor superó al recomendado por Riego Berry durante todos los meses de cultivo.

En la Tabla 1 se muestran también las necesidades hídricas del cultivo que variaron entre 2.606 m³ ha⁻¹ (2021/2022) y 3.396 m³ ha⁻¹ (2022/2023). Las eficiencias del riego variaron entre el 40 y el 51 %, mientras que las de Riego Berry lo hicieron entre el 70 y el 80%.

Las producciones fueron disminuyendo desde 2020 hasta 2023, obteniéndose productividades del riego del agricultor de 12,9 a 9,5 kg m⁻³, mientras que las de Riego Berry fueron de 20 kg m⁻³ en las dos primeras campañas y de 15,3 kg m⁻³ en la tercera. Se aplicaron entre 255 y 294 kg ha⁻¹ de abono nitrogenado en las diferentes campañas (Tabla 1). La productividad de la fertilización nitrogenada osciló entre los 251 y los 310 kg UFN⁻¹. Este indicador, se ha calculado considerando las entradas de nitrógeno con el fertirriego y el nitrógeno aportado por el agua de riego (media de 50 kg ha⁻¹). En la última campaña 22/23, si se contabilizaran los 59 kg ha⁻¹ de nitrógeno que aporta la enmienda orgánica, aplicada tres meses antes de plantación, bajaría la productividad de la fertilización nitrogenada a 207 kg UFN⁻¹.

- Extracción de nitrógeno por la planta

La extracción de nitrógeno de la planta siguió evoluciones diferentes y alcanzó unas cantidades finales distintas según el órgano vegetal estudiado. La extracción acumulada en la parte aérea creció de forma sostenida desde la plantación hasta mediados de abril, llegando a los 123 kg ha⁻¹ (Gráfico 1). A partir de esa fecha el ritmo de extracción disminuyó, alcanzando un valor al final del ciclo de 134 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

La raíz acumuló pequeñas cantidades de nitrógeno hasta mediados de abril, exportando las dos terceras partes en el último mes y medio del ciclo, con

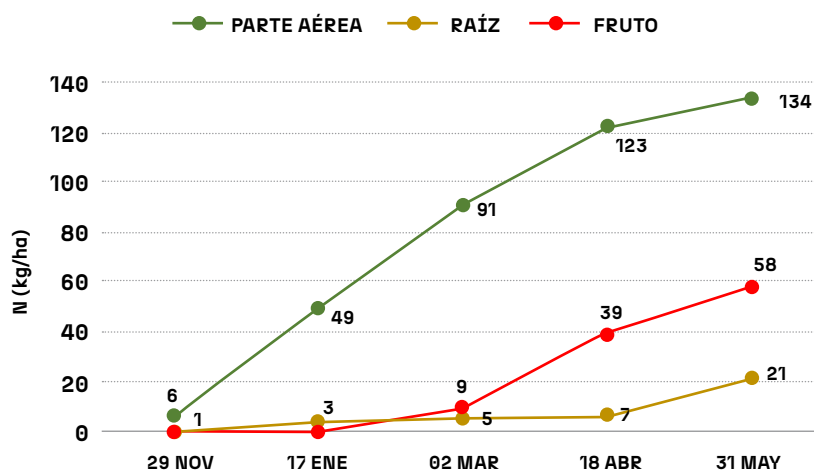


GRÁFICO 1
Evolución de las extracciones de nitrógeno (kg ha⁻¹) de los diferentes órganos vegetales de un cultivo de fresa durante la campaña 2022/2023.

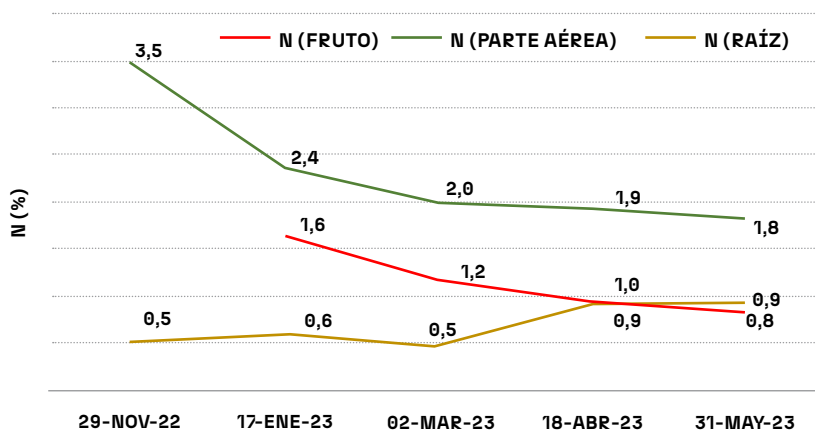


GRÁFICO 2
Evolución del contenido de nitrógeno (%) en las muestras de la parte vegetativa (parte aérea y raíz) y reproductiva de un cultivo de fresa durante la campaña 2022/2023.

un valor final de 21 kg ha⁻¹ de nitrógeno extraído. En este último periodo, la raíz produce la misma cantidad de biomasa seca que en la suma de todas las etapas anteriores (datos no mostrados) y coincide con la mayor extracción de nitrógeno en esta fase final.

Como era de esperar, la mayor parte de la extracción de N por parte del fruto se produjo en los tres últimos meses del ciclo, cuando se concentra la mayor parte de la cosecha. La mayor tasa de extracción de N en fruto

se produce a partir de marzo, obteniéndose un valor final acumulado de 58 kg ha⁻¹.

Se determinaron los porcentajes de nitrógeno de cada órgano de la planta. Los mayores niveles de nitrógeno en planta se encuentran en la parte aérea, seguido del fruto y la raíz, con promedios en el ciclo de 2,3, 1,1 y 0,7% respectivamente (Gráfico 2). Valores similares de contenido de nitrógeno inicial se han encontrado en brotes de moras (Strik y Bryla, 2015), disminuyendo a medida que avanza el ciclo de



Vista general de un túnel de fresa en la provincia de Huelva.

cultivo. En el caso de la fresa, Domínguez *et al.* (2009) describieron cambios estacionales en la concentración de nitrógeno que evolucionaron desde el 3,3% a inicio de ciclo hasta 2,4%

cuando finalizó el cultivo, similares a los presentados en este trabajo. La mayor acumulación de N en la parte aérea hasta el mes de marzo (Gráfico 1), se produce principalmente por el

mayor contenido de nitrógeno medido en el material vegetal (Gráfico 2). En las dos primeras campañas (20/21 y 21/22) se realizó el mismo seguimiento, pero sólo muestreando el cultivo al final del ciclo. Si se compara este histórico de extracciones con sus respectivas producciones (Gráfico 3), se observa cómo la producción descendió de 79 a 66 t (Tabla 1), en paralelo al descenso en la extracción de nitrógeno por parte del fruto (de 76 a 58 kg ha⁻¹). Por el contrario, las extracciones en la parte vegetativa (parte aérea y raíz) aumentaron en este periodo, alcanzando los 213 kg ha⁻¹ totales en la campaña 2022/2023. Esta mayor extracción de N es debida, fundamentalmente, al mayor crecimiento de la planta en esta última campaña como se aprecia en el Gráfico 4. Puede observarse que la relación entre el peso seco y el peso fresco de hojas sube de 0,20 a 0,26, y

Variedades de vid en España

2ª Edición
Actualizada y revisada



en raíz de 0,24 a 0,38 (incremento del 58%). Un aumento creciente del riego en a lo largo del periodo estudiado (2021-2023) (Tabla 1), podría ser la causa de esta mayor extracción total, debido al mayor volumen de biomasa producida al haber más transpiración del cultivo.

Finalmente, se calculó la eficiencia de la fertilización nitrogenada en la última campaña, considerando la relación entre el N exportado por la planta y el N aplicado (fertirriego y enmienda), teniendo en cuenta también el N mineral disponible en el suelo (Verhulst, *et al.*, 2015). El suelo tuvo un saldo positivo de N al finalizar el cultivo de 14 kg ha⁻¹ en esta campaña. En consecuencia, la eficiencia de la fertilización nitrogenada fue del 64% en las condiciones del estudio. Hemos de tener en cuenta que menores volúmenes de riego aplicados, supondrían una menor cantidad de abono aportado, por lo que la eficiencia de la fertilización nitrogenada aumentaría si el volumen de riego aplicado hubiera estado cerca del recomendado.

Conclusiones

La determinación de las dosis de fertilizante y de sus momentos de aplicación es un proceso complejo que depende del cultivo, del rendimiento esperado, de los nutrientes disponibles en el suelo y de sus transformaciones a lo largo del ciclo de cultivo, así como de las condiciones climáticas. Es necesario conocer las extracciones del cultivo y su evolución a lo largo del ciclo, puesto que aporta información sobre la cantidad de nitrógeno que la planta absorbe, el ritmo de asimilación y la acumulación en los distintos órganos de la planta. Además, resulta fundamental conocer los valores del nitrógeno aportado por el agua de riego, que no son sin duda despreciables. Cifras cercanas a los 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno se acumularon en un cultivo de fresa en el periodo estudiado (2021-2023), el 63% en los órganos vegetales de la parte aérea y el 27% en el fruto. Estos datos constituyen un punto de partida para la progra-

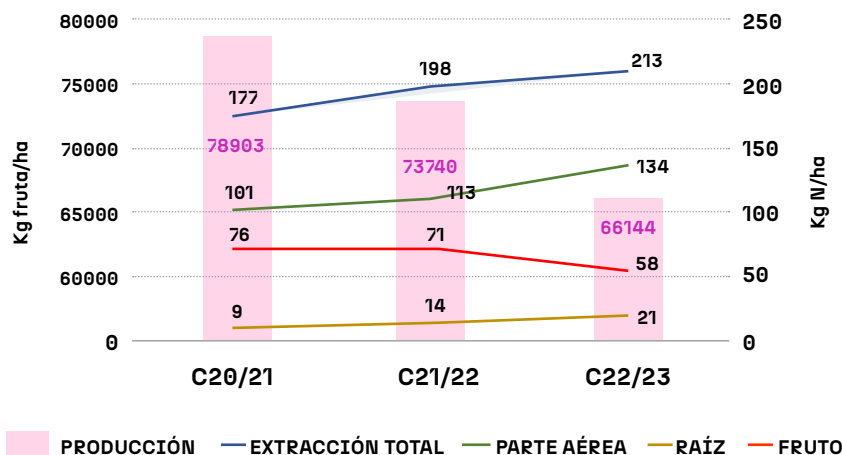


GRÁFICO 3
Producción (kg ha⁻¹) y extracciones de nitrógeno (kg ha⁻¹) en los diferentes órganos de un cultivo de fresa durante las campañas 20/21, 21/22 y 22/23.

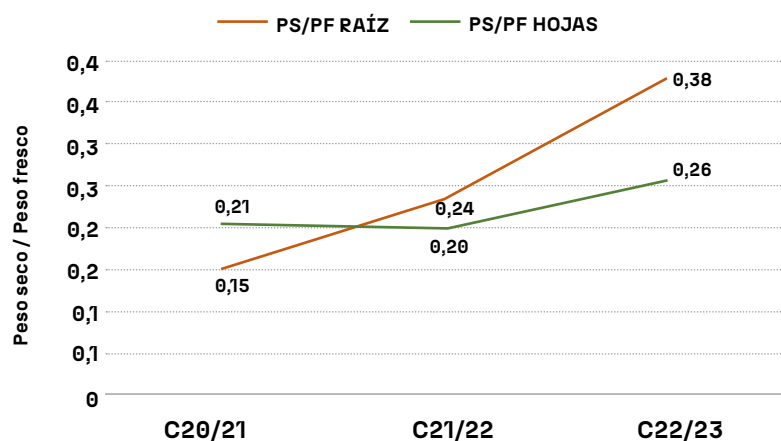


GRÁFICO 4
Relación entre el peso seco y el peso fresco de raíz y hojas de un cultivo de fresa durante las campañas 20/21, 21/22 y 22/23.

mación racional de una fertilización nitrogenada, basada en la reposición de los nutrientes consumidos realmente por el cultivo. En esta línea, el IFAPA ha iniciado un proyecto con el objetivo de mejorar la eficiencia del abonado nitrogenado, basado en un modelo de simulación que calcule la producción diaria de biomasa del cultivo y la extracción de N.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por los proyectos “TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA UN REGADÍO SOSTENIBLE. SAR (PP.TRA.

TRA2019.006), cofinanciado con fondos FEDER y “Polo de Innovación Abierta para los Sistemas de Riego en la Agricultura Mediterránea” (PCI2020-112085), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y la UE “NextGenerationEU”/“PRTR”, mediante el programa PRIMA y su proyecto “Open Innovation Hub for Irrigation Systems in Mediterranean Agriculture” (HubIS).

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com