

Cáñamo en Uruguay: Primer diagnóstico agronómico

Santiago Dogliotti^a, Cecilia Berrueta^b, Imanol Arismendes^a, Marcelo Pizzanelli^c, Gustavo Morales^c, Guzmán Rousserie^d, Damián Collazo^d, Eduardo Cianelli^e, Mauricio Borges^f, Gustavo Giménez^b, Alfredo Albín^b

^a Facultad de Agronomía, Universidad de la República

^b Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

^c Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca

^d Intendencia de Canelones

^e Intendencia de Maldonado

^f Intendencia de San José

1. Introducción

En los últimos años ha crecido fuertemente la demanda por flores con alto contenido de cannabidiol (CBD) y bajo de tetrahidrocannabinol (THC). Gracias a la alta rentabilidad que se especula tiene el cultivo, y los grandes márgenes que se pueden generar si se llega a un producto “Premium”, es que ha resultado muy atractivo para pequeños, medianos productores y empresarios. La licencia otorgada por la Dirección General de Servicios Agrícolas (DGSA), permite cultivar, cosechar y acopiar cáñamo industrial (< 1% THC).

En Uruguay como en prácticamente todo el resto del mundo, la ilegalidad de operar con este cultivo hizo que hoy en día se carezca de conocimiento científico y confiable, sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo. La falta de información, como también de experiencia para llevar a cabo las distintas etapas y variantes del proceso productivo, representa una gran limitante para el desarrollo del rubro.

Un primer paso para diseñar una estrategia de investigación y generación de tecnología para apoyar el desarrollo de este rubro es conocer la situación actual de los sistemas de producción e identificar y jerarquizar los principales factores que limitan el rendimiento. Por lo tanto, este estudio tuvo el objetivo de caracterizar los sistemas productivos de cáñamo para la producción de flores con alto contenido de CBD e identificar los principales factores que determinan el rendimiento de este cultivo en la región sur del país en las zafras 2021-22 y 2022-23. La metodología utilizada fue el diagnóstico agronómico regional (Doré et al., 2008) aplicado para estudiar la variabilidad de rendimientos y sus principales causas en el cultivo de tomate industria (Berrueta et al., 2012), frutilla (Scarlatto et al., 2017), tomate en invernáculo, cebolla, boniato (Dogliotti et al., 2021) en Uruguay. Este estudio fue

desarrollado conjuntamente por la Dirección General de Desarrollo Rural (DGDR/MGAP), Facultad de Agronomía (UdelaR), INIA, y las intendencias de Canelones, Maldonado y San José.

2. Metodología

2.1 Selección de las muestras de predios

La población bajo estudio se definió como los predios de cañamo para la producción de flores con alto contenido de CBD para exportación en el sur de Uruguay (Montevideo, Canelones, Maldonado y San José) registrados en el MGAP antes de cada zafra (Tabla 1). Se trabajó durante las zafras 2021/22 y 2022/23. En 2021/22 el número de empresas registradas era notoriamente superior al de la zafra 2022/23, donde se produjo una fuerte caída del número de empresas y superficie sembrada (Figura 1). Con la información de la superficie a campo e invernáculo se armaron 3 grupos según escala productiva usando análisis de conglomerados (método de Ward, distancia de Gower). Además, dentro de cada conglomerado se seleccionaron predios manteniendo la misma distribución por departamento (Canelones, Maldonado y San José) de la población total. Dentro de cada predio se seleccionó más de un cultivo para aumentar el número de casos de estudio. Se definió “cultivo” como un área de suelo y manejo homogéneo en todas las variables relevantes. Esto ocurrió en los predios donde se identificaron varias áreas de cultivo con manejo homogéneo, por ejemplo, distintas variedades o fechas de plantación. La muestra en 2021-22 estuvo constituida por 21 empresas, 33 cultivos de campo y 10 de invernáculo (32% de las empresas totales habilitadas). En 2022-23 la muestra se conformó por 9 empresas, 7 cultivos a campo y 10 de invernáculo (70% de las empresas totales habilitadas). La distribución por departamento se detalla en la tabla 2.

Tabla 1. Empresas y superficie de cultivo registrada en el MGAP antes del inicio de la zafra 2021 – 2022.

	No. de empresas	Superficie a campo ha	Superficie invernáculo m ²	% empresas	% superficie a campo	% superficie invernáculo
Canelones	26	84	43041	40,0	48,0	47,4
Montevideo	5	3	24172	7,7	1,8	26,6
San José	9	45	6000	13,8	26,0	6,6
Maldonado	25	42	17521	38,5	24,2	19,3
TOTAL	65	175	90734			

Figura 1. Evolución de la superficie plantada a campo e invernáculo.

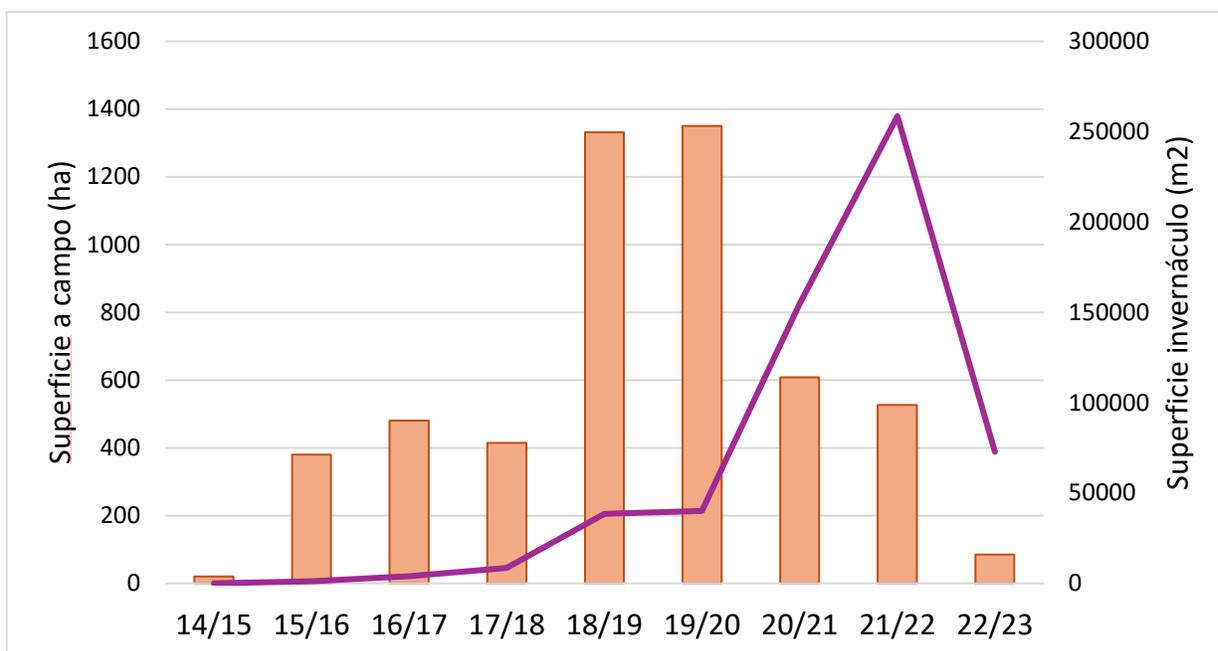


Tabla 2. Número de empresas y predios seleccionados para el estudio durante la zafra 2021-22, 2022-23 según departamento.

Departamento	Zafra 2021- 2022		Zafra 2022- 2023	
	Número de empresas	Número de Cultivos	Número de empresas	Número de Cultivos
Canelones	12	23	5	7
Maldonado	6	7	5	15
San José	3	3	0	0
Total	21	33	10	22

2.2 Seguimiento de los cultivos

Los predios se visitaron cada quince días, para realizar entrevistas, registros en cuaderno de campo y mediciones directas. Se realizó una entrevista al productor para obtener información general del predio y su disponibilidad de recursos. En la misma se consultó: superficie total del predio, tenencia de la tierra, uso del suelo, actividades productivas y principales fuentes de ingreso, superficie de invernáculos, uso de mano de obra,

disponibilidad y fuentes de agua, nivel de mecanización, experiencia previa en el cultivo de cáñamo, métodos utilizados para el secado de flores y sistemas de comercialización del producto. Además, se consultó la opinión del productor acerca de cuáles son los principales problemas y desafíos que afronta en el negocio del cáñamo y en qué fase de la cadena productiva.

Se relevaron variables de manejo que se clasificaron en: determinantes, limitantes y reductoras del rendimiento, según el orden jerárquico propuesto por van Ittersum y Rabbinge (1997) y van Ittersum et al. (2013). Las variables determinantes del rendimiento refirieron al ambiente, al material vegetal utilizado y al desarrollo de la canopia para la interceptación de luz. Se registró la fecha de siembra y trasplante, fecha de inicio de floración, cosecha y final del cultivo, la densidad de plantas, la calidad del plantín y la variedad. Se usaron los registros climáticos de radiación, temperatura, precipitaciones y humedad relativa de la Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate del INIA (Las Brujas, Canelones) para Canelones y San José. Para Maldonado se usaron datos proporcionados por INUMET de la estación meteorológica de Laguna del Sauce. En los predios se instalaron pluviómetros para el registro de precipitaciones. En los cultivos bajo invernáculo, se midió la trasmisividad del mismo usando ceptómetro para determinar la radiación interior y exterior. Además, se midió la fracción de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada por el cultivo antes del inicio de la cosecha y se registraron los manejos de planta como podas, deshojes, raleos de machos y sistemas de conducción.

Las variables limitantes del rendimiento se vincularon al suelo, la fertilización y el agua. Las características del suelo se evaluaron a partir de una muestra compuesta tomada de 0-20 cm de profundidad previo al trasplante del cultivo. En cada cultivo se determinó: pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico, contenido de fósforo Bray I y bases intercambiables. Se colectaron muestras del agua del riego durante el mes de enero (cuando la demanda del cultivo es mayor). En el agua se analizó: pH, CE, concentración de bicarbonatos, potasio, calcio, magnesio, sodio y la relación de adsorción de sodio (RAS).

Se cuantificaron los aportes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en la fertilización de base y en las re-fertilizaciones durante el cultivo. También se registró el aporte de enmiendas orgánicas previo al trasplante. Se registró el manejo previo del suelo del cuadro de cultivo (cultivos anteriores) y aspectos de la sistematización del cuadro como: ubicación topográfica y riegos de anegamiento. El estado nutricional de las plantas antes del inicio de cosecha se relevó a través de análisis foliar de N, P y K. Para el análisis se colectaron 30 hojas nuevas, pero totalmente desarrolladas de cada cultivo entre las 6 y 10 am para evitar deshidratación de las muestras. Las muestras foliares se mantuvieron en conservadora refrigerada hasta su entrega en el laboratorio. Además, se cuantificó el contenido de potasio y calcio en el jugo de brotes utilizando sistemas de análisis rápido basado en electrodos ion selectivos (LaquaTwin). Para ello se colectaron 30 brotes de la 5ta o 6ta hoja desde el ápice entre las 6 y 10 am. Las muestras se mantuvieron en conservadora refrigerada hasta la medición. Al momento de la medición, se eliminaron los foliolos para posteriormente picar y exprimir con prensa de ajo los tallos de los brotes.

Los factores reductores del rendimiento refirieron a la presencia de enfermedades, plagas y malezas. Se registró el calendario de aplicaciones de productos fitosanitarios (número de aplicaciones y tipo de producto) durante todo el ciclo, y se evaluó la incidencia de enfermedades y plagas.

Procedimientos para las mediciones realizadas:

Trasmisividad: Se dividió el invernáculo en cuatro cuadrantes y se midió la radiación con la barra del ceptómetro a la altura del pecho en un punto de cada uno. A la vez, se hicieron 4 mediciones exteriores con el piranómetro. A partir de estas mediciones se determinó el porcentaje de radiación que atraviesa el invernáculo y llega al cultivo. Esta determinación se realizó en días totalmente despejados o completamente nublados, entre las 10 y las 15 horas.

Fracción PAR interceptada por el cultivo al inicio de cosecha: Se tomaron 4 medidas con ceptómetro en cuatro parcelas ubicadas en el área de cultivo. Se colocó la barra contra el suelo y el piranómetro por encima de la canopia (en cultivos en invernadero se colocó dentro del invernadero). Se realizaron dos medidas de cada lado de la hilera, tomando la mitad del cantero y la mitad de la entrefila que le corresponde. Las mediciones se realizaron en días totalmente despejados o nublados, entre las 10 y las 15 horas.

Calidad del plantín: Sobre una bandeja de 96 plantas antes del trasplante se determinó: estado general, sanidad y uniformidad de los plantines. Se definió una escala visual para cada parámetro con tres niveles (excelente, bueno, deficiente).

Densidad de plantas: Se contó el número de plantas en cuatro parcelas de 10 metros de largo en el área del cultivo. Se registró la distancia promedio entre canteros y el número de filas por cantero.

Determinación del rendimiento de cáñamo

Se evaluó el rendimiento del cultivo en cuatro parcelas de 4 plantas. Se realizó la cosecha de las plantas, luego se hizo una limpieza (manicura) hasta obtener la flor limpia. Se obtuvo el peso fresco por parcela y por planta. Luego, se tomó una muestra de 300 g de flores frescas para determinar porcentaje de materia seca. Para determinar la materia seca, las flores se colocaron en estufa a 60°C hasta peso constante. Con la información anterior se calculó el rendimiento de flor comercial con 15 % de humedad, por planta y por superficie.

3. Resultados

3.1 Características generales de los predios

La mayoría de los predios plantaba una superficie a campo menor a 1 ha. Sin embargo, algunas empresas plantaron más de 15 ha a campo en la zafra 2021/22. En el caso de las empresas que realizaron cultivos en invernáculo, la mayoría cultivó una superficie entre 501 y 1000 m². En la zafra 2022/23 todas las empresas cultivaron menos de 2 ha de

cáñamo a campo y menos de 1000 m² bajo invernáculo, mostrando una reducción de la superficie promedio por productor de la primera zafra a la segunda.

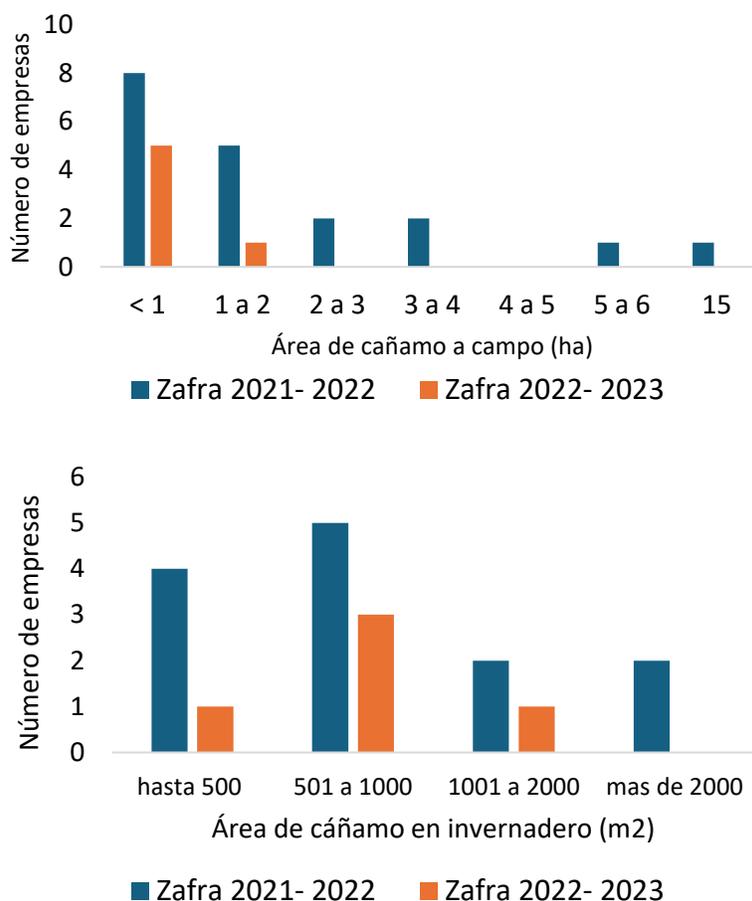


Figura 2. Número de empresas según área de cáñamo a campo (a) e invernáculo (b) en las zafras 2021/22 y 2022/23.

En la zafra 2021/22, 14 de los 22 productores que participaron del estudio eran propietarios de la tierra (17,9 ha de cultivo de cannabis). Mientras que 30 ha de cultivo se hicieron bajo régimen de arrendamiento. Solo 8 productores tenían como principal fuente de ingreso el cultivo de cannabis. En esta zafra, 8 productores manifestaron contar con más de tres años de experiencia en producción de cáñamo, para 6 fue el segundo año en el rubro y para 3 fue el tercer año de cultivo. El resto no contaba con experiencia previa. En la zafra 2022/23, 5 de los 10 productores explotaban la superficie bajo propiedad conformando un área de 5,5 ha de cultivo, 4 predios cultivaron en tierra arrendada un área de 2,2 ha de cannabis y un predio en forma de comodato cultivó 1 ha. Solamente 3 productores tenían como principal fuente de ingreso dicho cultivo. Todos los productores manifestaron tener experiencia previa en el cultivo de cannabis.

En ambas zafras, en el transcurso de las mismas, todos los productores contaron por lo menos con un empleado dedicado exclusivamente al cultivo de cáñamo. A medida que

aumentan las áreas plantadas, aumenta el número de empleados permanentes. En promedio, hay un trabajador permanente por hectárea, el cual en general se encarga de las principales tareas: trasplante, riego, podas, aplicaciones fitosanitarias, raleo de plantas fuera de tipo, etc. En cuanto al personal jornalero, varía según el tamaño de la explotación y el trabajo a realizar. En general, la cosecha y acondicionamiento de la flor son las tareas que tienden a realizarse con personal zafral por su alta demanda de mano de obra y estacionalidad.

En cuanto a la producción de plantines la mayoría de los productores decidió realizar esta actividad en el predio, desde semilla. Si bien no se cuenta con registros, en las visitas periódicas a los predios, se constató que casi la totalidad de los productores contaban con un invernáculo, el cual oficiaba de vivero para la producción de plantines. Unos pocos decidieron contratar este servicio, sobre todo aquellos que instalaron los cultivos a partir de esquejes (clones). En la zafra 2021/ 22, el 67,5% de los cultivos fue instalado a partir de plantines provenientes de semilla. En la siguiente zafra la tendencia se equilibró, donde el 55% de los cultivos fueron instalados a partir de plantines originarios de semilla y el resto de esquejes.

En lo que respecta al secado y acondicionamiento de la flor, los productores pueden hacerlo en el predio o tercerizar el servicio. Cuando esta actividad es llevada dentro del predio, la planta es cosechada y llevada hasta un espacio acondicionado como secadero. Los mismos en general son contenedores, o galpones, equipados con ventiladores, aire acondicionado y des-humificadores. En general los productores cuelgan las ramas, que pueden ya tener las flores trimiadas o no, y luego que las flores tienen una humedad adecuada (en torno al 15%) son separadas de las ramas. Algunos productores prefieren una vez cosechada la planta ya separar las flores de las ramas y limpiarlas para reducir el tiempo de secado. Cuando los productores deciden tercerizar el servicio, la empresa que lo brinda exige que lleguen al secadero ramas de no más de 30 cm, con un deshojado previo, a veces pueden exigir un desramado.

El secado de las flores luego de la cosecha en la zafra 2021/22 se realizó en los propios predios en el 59% de los casos mientras que el 32% contrató el servicio de secado fuera del predio. El 9% restante utilizó las dos estrategias, secando parte de la cosecha en el predio y la otra parte en empresas especializadas. En la zafra 2022/23, el 50% secó las flores en los predios, 38% contrató servicio de secado y el 12% secó en el predio y además contrató servicio de secado.

Las fuentes de agua para riego eran muy variables, desde pozos excavados, pozos semi surgentes, tajamares y arroyos. Todos los predios contaban con disponibilidad de agua suficiente para cubrir la demanda del cultivo. Todos los productores utilizan riego por goteo, pero solo unos pocos tienen este sistema automatizado. La mayoría de los predios utilizaban una cinta de riego por cantero, pero algunos utilizaban dos, la mayoría con goteros a 30 cm y con un caudal por gotero de 1 litro por hora.

3.2 Principales problemas del rubro según opinión de los productores

Dentro de los problemas que fueron jerarquizados por los productores para el desarrollo del rubro en el país se destaca la comercialización y los mercados. Esto fue mencionado en primer lugar por 16 de los 22 productores entrevistados en 2021/22. Esta limitante es seguida de dificultades para el secado y la poscosecha, problemas sanitarios durante el cultivo y limitado acceso al conocimiento y capacitaciones. Con respecto a los problemas sanitarios se destacó la incidencia de hongos en la etapa de floración.

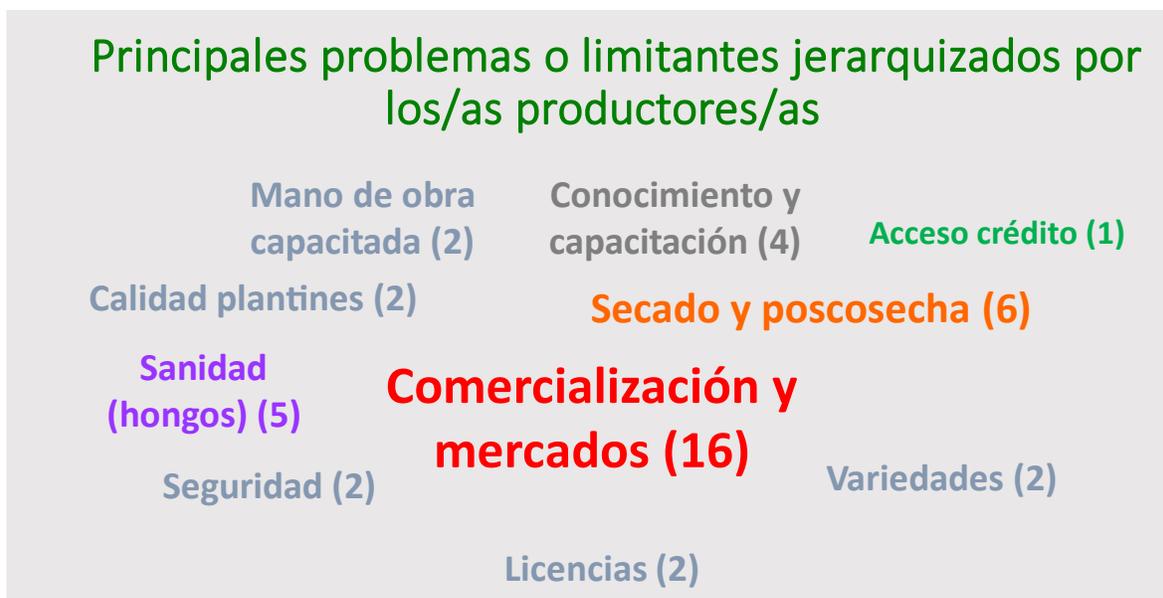


Figura 4. Principales problemas o limitantes del rubro según la opinión de los productores entrevistados (entre paréntesis se presenta el número de veces que se mencionó cada una de las limitantes).

3.3 Caracterización general del manejo de los cultivos

En referencia a la rotación de cultivos, en la primera zafra la mayoría de los cuadros de cultivo e invernáculos utilizados no se habían usado antes para el cultivo de cannabis. En la segunda zafra en cambio, la totalidad de cuadros e invernáculos se habían utilizado el año anterior para la producción de cannabis, pero en la mayoría de los cultivos a campo se había realizado un puente verde durante el invierno.

Las siembras de almácigo se realizaron desde el mes de octubre a diciembre, mientras que los trasplantes se realizaron entre noviembre y enero. En la zafra 2021/22, la primera siembra de almácigos registrada fue el 1/10 y la última el 25/11 significativamente más tempranas que las siembras de la siguiente zafra (diciembre - enero). Esto condujo a un atraso significativo de la fecha de trasplante en la segunda zafra.

El trasplante en la mayoría de los predios fue sobre canteros distanciados 2 m unos de otros, con una sola fila de plantas por cantero y una distancia entre plantas de 1 m. La densidad promedio fue de 4450 y 5623 plantas/ha para 2021/22 y 2022/23 respectivamente.

En un solo caso no se levantó canteros y se plantó en camellones bajos a 0,9 m de distancia entre filas (zafra 21- 22) pero tuvo severos problemas de daño en plantas por anegamiento.

Tabla 3. Fechas de siembra y trasplante por zafra

Zafra	Fecha de siembra			Fecha de trasplante		
	primera	última	promedio	primera	última	promedio
2021/22	1/10	25/11	Sept- Oct	22/11	27/12	Nov- Dic
2022/23	13/10	10/1	Dic - Ene	15/11	7/2	Dic- Ene

Tabla 4. Densidades de plantación máximas, mínimas y promedio según zafra

Zafra	Densidad máxima (plantas/ha)	Densidad mínima (plantas/ha)	Densidad promedio (plantas/ha)
2021/22	10000	2231	4450
2022/23	7557	4762	5623

La variedad más utilizada en ambas zafras fue Fedtonic. Cabe destacar que las únicas variedades que se utilizaron en ambas zafras fueron Fedtonic, Moca, Fenocheese y Panakeia.

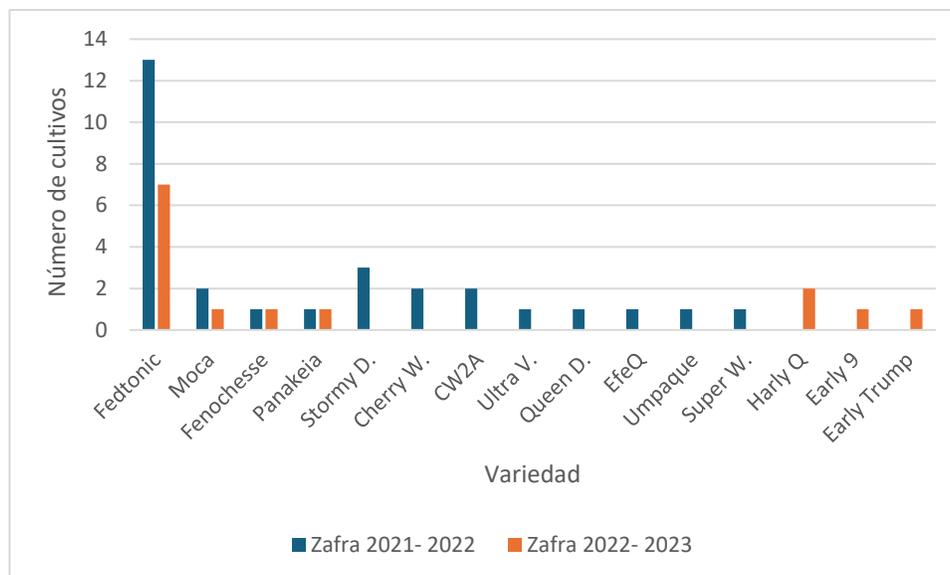


Figura 3. Número de cultivos según variedad utilizada para la zafra 2021/22 y 2022/23

En cuanto al manejo de plantas, hay productores que realizaron poda apical y basal. La poda apical consiste en remover el ápice de la planta para cortar la dominancia y así obtener dos tallos principales, este proceso se puede repetir y así aumentar el número de tallos principales. Esta poda se realiza en etapa de “plantín”, ya que es más fácil realizar la operación cuando la planta está en el almácigo. Muy pocos productores la realizaron una

vez instalado el cultivo. Esta práctica fue realizada en el 30% de los casos. Las podas basales se realizan con el fin de aumentar el flujo de aire dentro de la planta y la fila, estas suelen realizarse cuando el cultivo alcanza un porte tal que lo amerita. Esta práctica fue realizada en el 44% de los casos. La mayoría realizaron una poda basal en el mes de febrero, con el cultivo ya en estado de floración. En seis casos, se realizaron podas basales entre diciembre y enero, período donde es esperable que el cultivo este en estado vegetativo o próximo a iniciar floración. En dos de estos casos se repitió la poda con el cultivo en estado de floración.

Otro tipo de poda de mantenimiento es la denominada “sanitaria”, esta se realiza ya con el cultivo en floración, en los meses de febrero en adelante, con el fin de remover ramas con síntomas o signos de enfermedades. Otra práctica es realizar un deshoje previo a la cosecha, o durante el desarrollo del cultivo cuando las hojas del mismo están comenzando el proceso de senescencia, y/o muestran algún signo o síntoma de enfermedad. Esta práctica es realizada por pocos productores ya que insume mucha mano de obra. Solo se realizó en 8 cultivos y fue en el mes de diciembre y febrero. En cuanto al raleo de plantas macho, este se realizó en 18 cultivos. La mayoría comenzó el monitoreo en febrero, donde en general no se encontraron más de cuatro plantas fuera de tipo (macho y/o hermafrodita) por cultivo.

Varios productores utilizaron fertilización de base previo al trasplante del cultivo y al pie del mismo una vez instalado. Para la zafra 2021/22, en el 63% de los cultivos se utilizó fertilización de base. Las fuentes fueron: superfosfato triple, fosfato diamónico, cloruro de potasio y ácidos húmicos. La mayoría de los productores optó por el aporte de enmiendas orgánicas como la cama de pollo, abono de feedlot o compost, previo a la instalación del cultivo. Las dosis aplicadas estuvieron entre 23 y 46 m³/ha. Una vez instalado el cultivo, la mayoría utilizó aplicaciones foliares y/o vía fertirriego con productos de síntesis química. Los aportes de nutrientes considerando fertilización de base y durante el cultivo fueron de 8,8 a 85,7 kg de N por ha, de 4,1 a 92,7 kg de P por ha y de 9,4 y 59,0 kg de K por ha (sin considerar enmiendas orgánicas). El 50% de los cultivos en la zafra 2021/22 utilizaron fertirriego. En la zafra 2022/23, todos los productores utilizaron fertilización base y fertirriego.

3.4 Caracterización agroclimática de ambas zafras

Algunas variables agroclimáticas para los departamentos de Canelones y Maldonado en ambas zafras para los periodos comprendidos entre noviembre y abril se presentan en la tabla 5. En 2021/22 se registraron valores significativamente mayores en lo que refiere a precipitaciones mientras que en la zafra 2022/23 se atravesó un período de precipitaciones escasas.

3.5 Rendimiento de los cultivos

En la tabla 6 se presentan los rendimientos máximos, mínimos y medios de flores limpias (contenido de humedad de 15%) a campo e invernáculo. Se observó una importante variabilidad en los rendimientos obtenidos entre cultivos. Para la producción a campo, el mayor rendimiento se registró en Maldonado en la zafra 2022/23, correspondiente a 1694

kg/ha, el menor en Canelones correspondiente a 200 kg/ha en la zafra 2021/22. El rendimiento medio en Canelones prácticamente no varió de una zafra a la otra y en Maldonado aumentó de 862 a 1127 kg/ha de la primera a la segunda zafra. En invernáculo, el máximo valor registrado fue en Canelones en la zafra 2022/23 correspondiente a 2124 g/m². El mínimo también en Canelones, pero en la zafra 2021/22 correspondiente a 604 g/m². En cuanto a los rendimientos medios, en Canelones aumentó de 162 a 365 g/m² de la primera zafra a la siguiente, y en Maldonado se redujo de 270 g/m² en la primera zafra a 157 g/m² a la siguiente.

Tabla 5. Radiación solar, precipitaciones acumuladas, temperatura y humedad relativa media según zafra y departamento.

Zafra	Depto.	Radiación solar (MJ/m ² /día)	Precipitación Efectiva (mm)	Temperatura media (°C)	Humedad Relativa media (%)
2021/22	Canelones	21,3	498,6	21	72,7
	Maldonado	sd	754,6	20,3	76,2
2022/23	Canelones	21,0	324,8	22,1	67,2
	Maldonado	sd	329,7	20,9	73,4

sd: sin dato

Tabla 6. Rendimientos máximos, mínimos y medios para ambas zafras según departamento.

	Departamento	Zafra 2021/22			Zafra 2022/23		
		Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio
Campo (kg/ha)	Canelones	200	1243	517	410	601	505
	Maldonado	603	1342	862	300	1684	1127
Invernáculo (g/m ²)	Canelones	84	294	162	184	2124	365
	Maldonado	64	476	270	108	246	157

3.6 Variables determinantes, limitantes, reductoras del rendimiento y los componentes del rendimiento

El rendimiento por ha presentó una correlación positiva con el rendimiento por planta, la densidad de plantas y la fracción de PAR (radiación fotosintéticamente activa) interceptada por el cultivo a inicio de cosecha. De esta forma, los mayores rendimientos fueron obtenidos en los cultivos con mayor densidad de plantación y mayor intercepción de luz a inicio de cosecha, es decir con mayor desarrollo de follaje por superficie antes de empezar la cosecha (Tabla 7). El largo de ciclo no se correlacionó con el rendimiento. En lo que refiere a las variables limitantes del rendimiento, se encontró una correlación positiva entre el rendimiento obtenido con la concentración foliar de fósforo y una correlación negativa significativa con el nivel de RAS en el agua de riego (Tabla 8).

La fracción de PAR interceptada por el cultivo a inicio de cosecha se correlacionó positivamente con la densidad de plantas, la materia orgánica del suelo, el nivel de nitrógeno y fósforo foliar y la concentración de potasio en los brotes. Mientras que la correlación fue negativa y significativa con el largo de ciclo y la concentración de sodio en los brotes. La correlación negativa con el sodio es coherente con la correlación negativa entre RAS del agua de riego y el rendimiento obtenido.

Tabla7. Correlaciones de Spearman entre el rendimiento (kg/ha) y variables determinantes y limitantes en cultivos a campo.

	Variable	N	Coefficiente de correlación Spearman	p-valor
Determinantes	Rendimiento (g/planta)	37	0,72	<0.0001
	Radiación PAR interceptada (%) ^a	36	0,4	0,0146
	Densidad de plantas (plantas/ha)	37	0,51	0,0014
	Largo de ciclo (días)	32	-0,23	ns
Limitantes	Nitrógeno foliar (%) ^a	33	0,28	ns
	Fósforo foliar (g/kg MS) ^a	33	0,39	0,024
	RAS agua de riego	19	-0,47	0,04

ns: correlación no significativa con un nivel de significancia de 0.05.

^a Medidos a inicio de cosecha

Tabla 8. Relación entre la fracción de PAR interceptada por el cultivo a inicio de cosecha (%) y otras variables determinantes y limitantes del rendimiento en cultivos a campo.

Variable	N	Coefficiente de correlación Spearman	p- valor
Densidad de plantas (plantas/ha)	37	0,43	0,0073
Largo de ciclo (días)	31	-0,42	0,0191
Materia orgánica del suelo (%)	33	0,35	0,0462
Potasio en brotes (ppm) ^a	34	0,33	0,058
Sodio en brotes (ppm) ^a	30	-0,53	0,0029
Nitrógeno foliar (%) ^a	32	0,45	0,0095
Fósforo foliar (g/kg) ^a	32	0,41	0,0188

^a Medidos a inicio de cosecha

Para el caso de los cultivos bajo invernáculo, el rendimiento obtenido se correlacionó positivamente de forma significativa con la densidad de plantas, y si consideramos un nivel de significancia de 0.1 también se correlacionó con la fracción de PAR interceptada a inicio

de cosecha. Similar a lo observado para cultivos de campo. Considerando las variables limitantes del rendimiento, se encontró una correlación positiva entre el rendimiento obtenido y el contenido de nitrógeno foliar y el de potasio en los brotes (Tabla 9).

Tabla 9. Correlaciones de Spearman entre el rendimiento (kg/ha) y variables determinantes y limitantes para ambas zafas en cultivos bajo invernadero

	Variable	N	Coefficiente de correlación de Spearman	p- valor
Determinantes	Densidad de plantas (plantas/ m ²)	19	0,77	0,0001
	Fracción de PAR interceptada (%) ^a	15	0,47	0,0777
	Transmisividad del invernadero (%)	14	-0,25	ns
	Largo de ciclo (días)	16	-0,25	ns
	Nitrógeno foliar (%) ^a	12	0,59	0,0487
	Potasio en brotes (ppm) ^a	16	0,49	0,0548
Limitantes	Fósforo foliar (g/ kg MS) ^a	12	0,41	ns
	Calcio en brotes (ppm) ^a	16	0,32	ns
	Potasio foliar (g/ kg MS) ^a	12	0,14	ns
	Sodio en brotes (ppm) ^a	9	-0,48	ns
	Materia orgánica del suelo (%)	16	-0,22	ns
	RAS agua de riego	12	-0,06	ns

ns: correlación no significativa con un nivel de significancia de 0.05.

^a Medidos a inicio de cosecha

En cuanto a las variables reductoras del rendimiento, no se observaron problemas mayores de malezas, enfermedades y plagas en los cultivos. La mayoría utilizó mulch plástico para el control de malezas, algunos usaron mulch vegetal en base a fardos. También, durante el transcurso del cultivo se realizaron controles manuales de las malezas (azada) y/ o mecánicos (desmalezadora, rotativa). Solo se encontró un cultivo con problemas de malezas. A campo solo dos productores usaron herbicidas en la primera zafa. En cuanto a las enfermedades y plagas, la plaga de mayor presencia fue la *Diabrotica Speciosa*, presente en 51 cultivos. Luego, le siguieron las hormigas en 11 cultivos, trips en 9, arañuelas en 8 y lagarta en 5 cultivos, pero todos con baja incidencia. Las enfermedades registradas fueron *Botrytis cinerea*, *Sclerotium rolfsii* y *Colletotrichum sp.*, pero todas con baja incidencia y en pocos cultivos. En la zafa 2022/23, las enfermedades y plagas registradas fueron *Botrytis cinerea*, *Diabrotica speciosa*, Trips y lagartas cortadoras, pero todas con baja incidencia.

3.7 Factores determinantes del rendimiento en cultivos a campo

Los principales factores que explicaron la variabilidad en el rendimiento obtenido entre cultivos a campo fueron el rendimiento individual por planta y la densidad de plantas por superficie (Figura 5a y 5b). No se observó una relación clara entre la densidad de plantas y el rendimiento por planta. Al menos hasta 5000 plantas/ha la densidad no afectó el rendimiento por planta (Figura 5d).

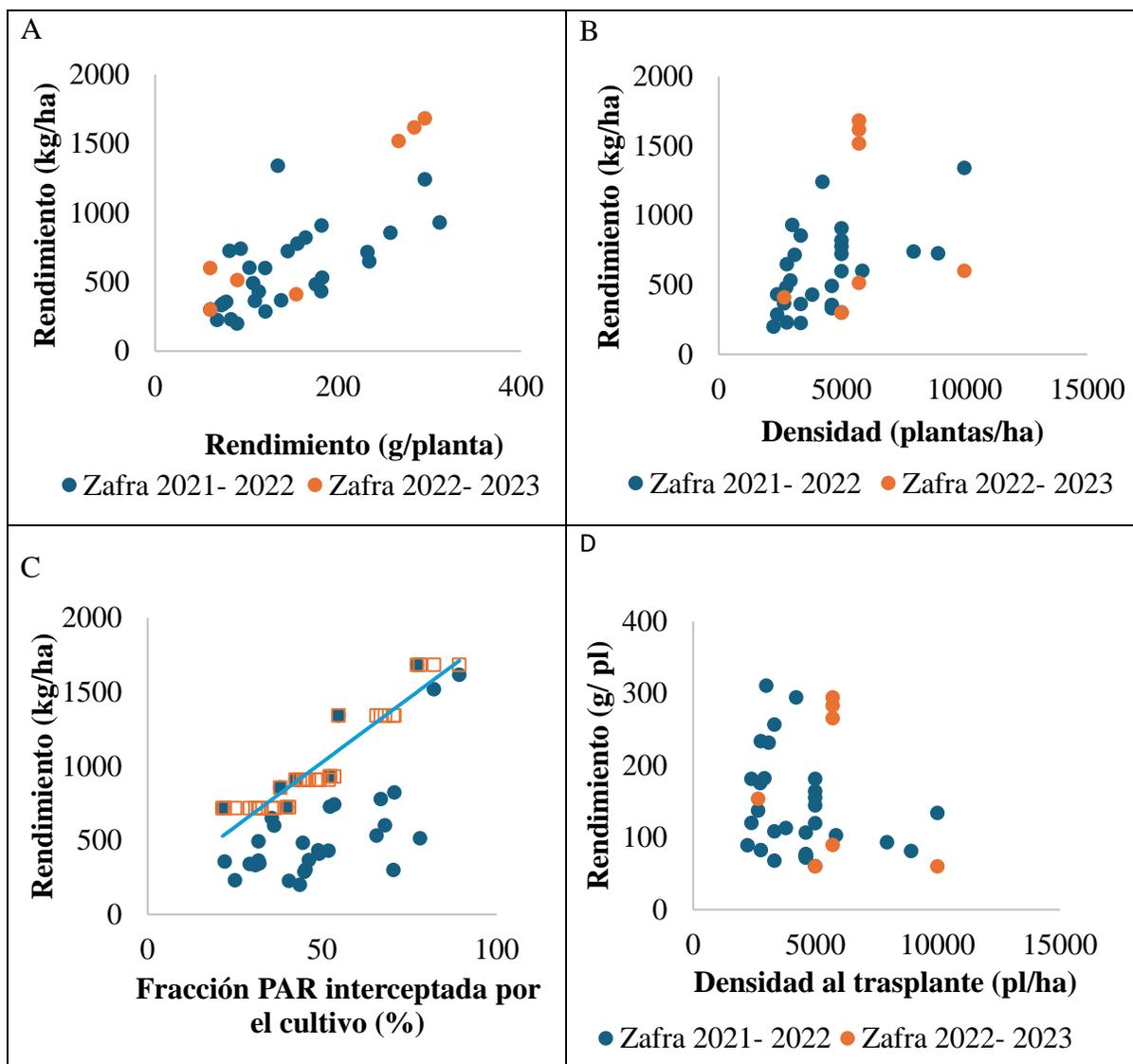


Figura 5. Rendimiento por superficie obtenido (kg/ha) según rendimiento por planta (a), densidad de plantación (b), radiación interceptada por el cultivo a inicio de cosecha (c) y rendimiento por planta según densidad de plantación (d)

A mayor fracción de PAR interceptada por el cultivo a inicio de cosecha, mayor fue el rendimiento obtenido. Se estableció una línea frontera (rendimiento alcanzable) donde para cada nivel de fracción de PAR interceptado hay un máximo rendimiento alcanzable, y este

no se puede superar si no se intercepta mayor fracción de PAR (Figura 5c). Si bien la relación es clara, el rendimiento depende de otros factores, que determinan que para el mismo nivel de fracción de PAR interceptado se observe una gran variabilidad de rendimientos.

La fracción PAR interceptada a inicio de cosecha por el cultivo se correlacionó positivamente con la densidad de plantación (Coeficiente de correlación Spearman 0,43) (Figura 6).

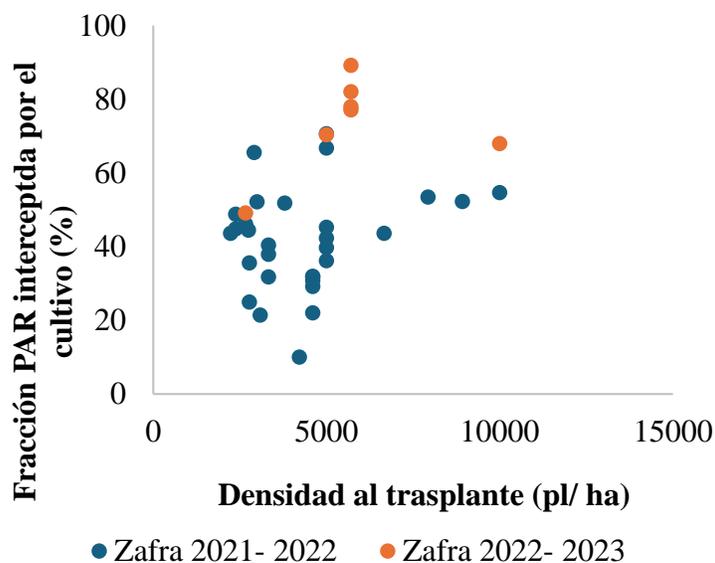


Figura 6. Radiación PAR interceptada por el cultivo a inicio de cosecha (%) según densidad de plantas

3.8 Factores limitantes del rendimiento en cultivos a campo

En la figura 7 se grafica la relación entre el rendimiento obtenido y el RAS del agua de riego. El RAS es un indicador utilizado para medir la calidad del agua para riego, expresa el contenido de sodio en relación al calcio y magnesio disueltos en el agua de riego indicando junto con la conductividad eléctrica, el potencial de toxicidad por sodio y el riesgo de limitar la infiltración de agua en el suelo por pérdida de estructura. Se observa que, a mayor RAS en el agua de riego, menores son los rendimientos obtenidos, indicando una alta sensibilidad del cultivo a la calidad del agua usada para riego.

El contenido de nitrógeno foliar tuvo una correlación positiva significativa con la fracción de PAR interceptada por el cultivo (Coeficiente de correlación Spearman 0,43) (Figura 8). Los contenidos de nitrógeno foliar a inicio de cosecha estuvieron entre 2,24 y 4,97 %.

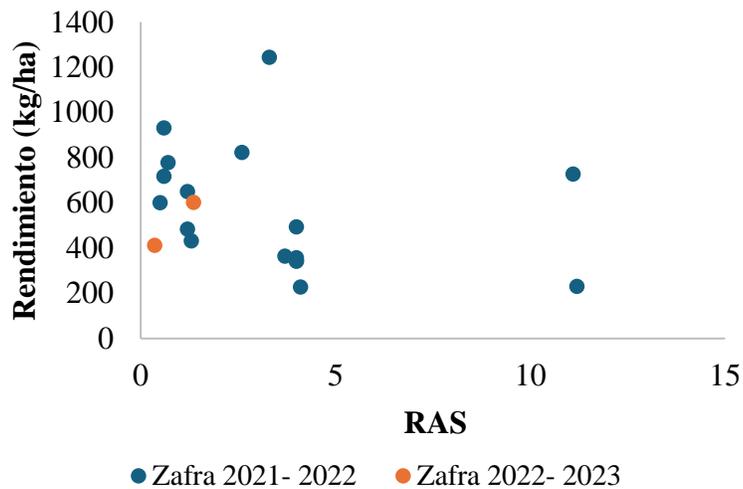


Figura 7. Relación entre el Rendimiento obtenido y el RAS del agua de riego

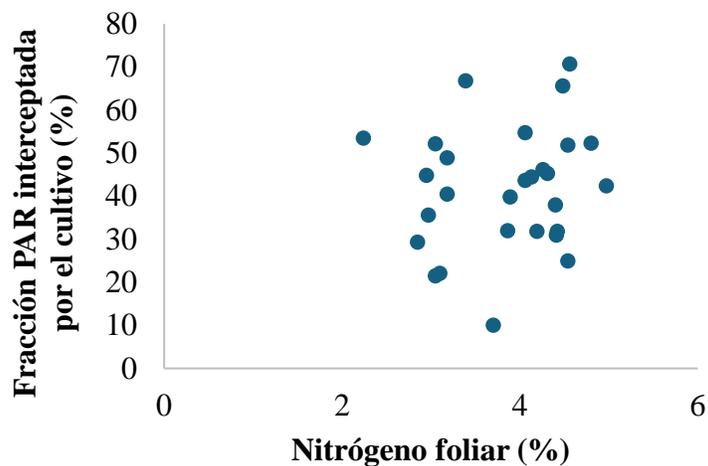


Figura 8. Fracción PAR interceptada por el cultivo en función del contenido de nitrógeno foliar.

3.9 Factores determinantes del rendimiento en cultivos bajo invernáculo

Al igual que para los cultivos de campo las variables determinantes del rendimiento que explican la variabilidad de rendimientos obtenidos son el rendimiento por planta, la densidad de plantación y la radiación interceptada a inicio de cosecha. Los rendimientos más altos se obtuvieron con 4,7 plantas/m² y estuvieron asociadas a mayor intercepción de luz por el cultivo a inicio de cosecha (Figura 9).

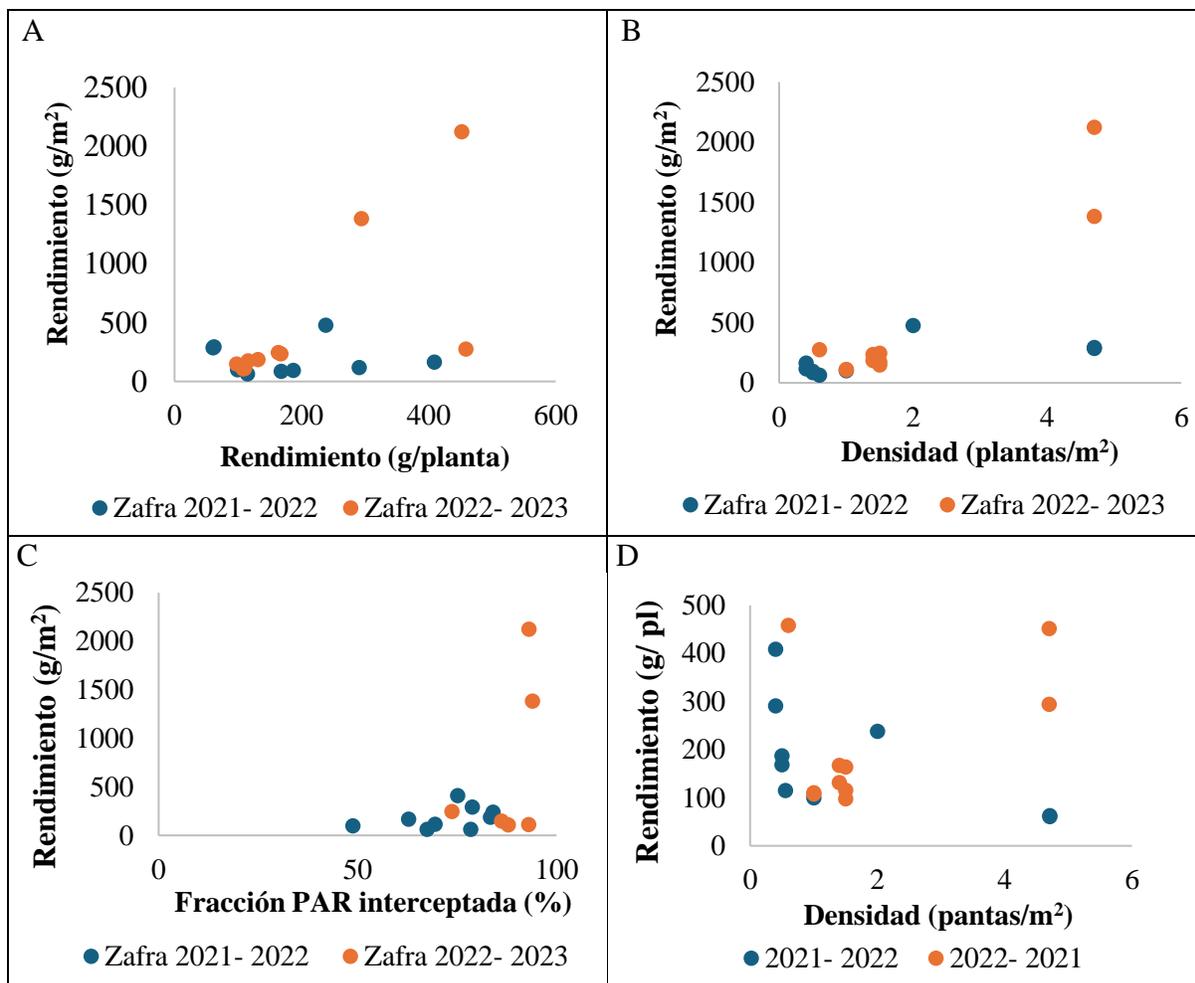


Figura 9. Rendimiento por superficie obtenido (g/m²) según rendimiento por planta (a), densidad de plantación (b), radiación interceptada por el cultivo a inicio de cosecha (c) y rendimiento por planta según densidad de plantación (d)

3.10 Factores limitantes del rendimiento en cultivos bajo invernáculo

Entre los factores limitantes del rendimiento el contenido de nitrógeno foliar y la concentración de potasio medida en los brotes a inicio de cosecha explicaron en mayor medida la variabilidad de rendimientos observado. Mayores rendimientos por superficie se obtuvieron con mayor contenido de nitrógeno y potasio (Figura 10).

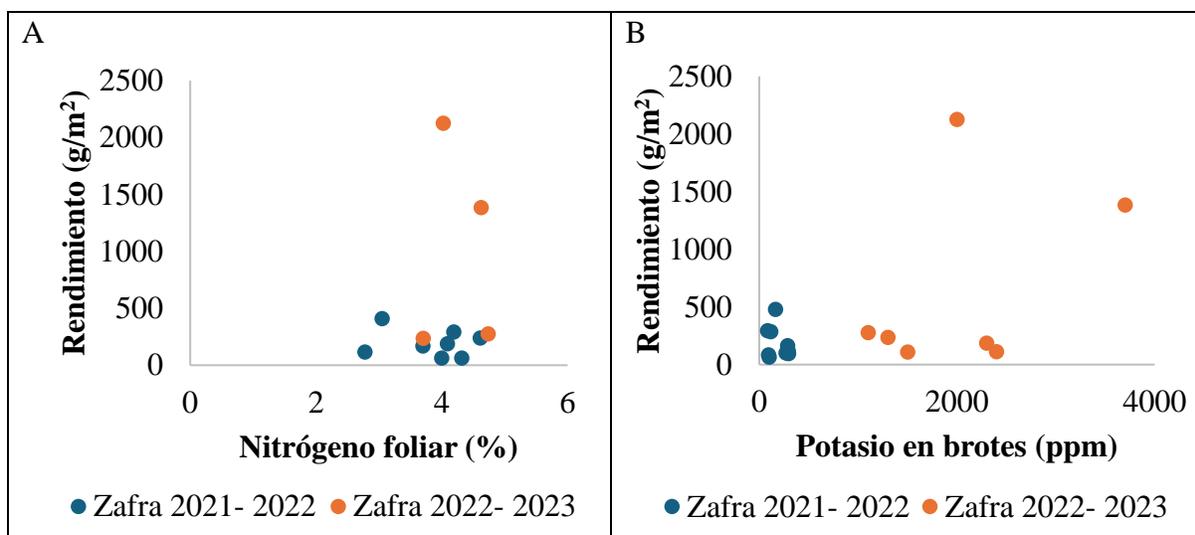


Figura 10. Rendimiento obtenido (g/m²) según nitrógeno foliar (a) y potasio en brotes (b).

4. Comentarios finales y conclusiones

Se produjo una caída significativa de superficie y empresas vinculadas al sector entre la primera y la segunda zafra. Las causas se vinculan a problemas en la comercialización, y a la reducción significativa de los precios de venta. Esta tendencia empezó a observarse en anteriores, pero hizo crisis en la comercialización de la zafra 2021/22. También se registró una alta proporción de descartes por no llegar a la calidad exigida por los mercados, lo que redujo el valor del producto y los porcentajes comerciales. Desde el 2018 al 2022 se pasó de 0 a 12000 kg de flores no psicoactivas exportadas. Entre 2021 y 2022 se redujo 35% el valor exportado debido principalmente a una caída significativa de los precios de venta (Uruguay XXI, 2023). Esta situación también se refleja en la percepción de los empresarios, quienes identifican a la comercialización como el principal cuello de botella para el desarrollo del rubro.

En la producción de flores no psicoactivas en Uruguay con producción a campo en la zafra 2021/22 convivieron empresas de pequeño porte (menores a 1 ha) con empresas de gran porte (15 ha). Esta situación cambió en la zafra siguiente, donde el tamaño de empresas se redujo significativamente (todas menores a 2 ha). Este cambio tiene que ver con la coyuntura comercial que generó una retracción en el rubro en Uruguay. En invernadero, las áreas por empresa no superaban los 2000 m² en ninguna de las dos zafras, la mayoría con superficies de cultivo entre 501 y 1000 m².

En la zafra 2021/22 conviven empresas con experiencia previa (78%) con empresas nuevas en el rubro (22%), mientras que en la zafra siguiente todas las empresas que se mantuvieron en el rubro contaban con experiencia previa. Una característica de este rubro es que en la mayoría de las empresas manifestaron que la producción de cáñamo no era su principal fuente de ingresos (64% en 2021/22 y 30% en 2022/23) coexistiendo esta actividad

económica con otras actividades muy diversas (otras profesiones, ganadería, agricultura, apicultura, actividades relacionadas al turismo, etc).

En 2023 el sector del cannabis empleó a 900 personas de manera directa en 102 proyectos (Uruguay XXI, 2023). Es un rubro con alta demanda de mano de obra. Esto se comprobó en este estudio donde la mayoría de las empresas contaba con personal permanente contratado, más la contratación de personal jornalero para tareas como cosecha y acondicionado de las flores. Entre el 59 y 50% (zafra 2021/22 y 2022/23, respectivamente) de los predios realizó el secado de flores en los propios predios, en cambio entre un 32 y 38% contrató servicios especializados para el secado. Esto es de remarcar, ya que el 27% de los productores indicaron el secado y poscosecha del producto como limitantes principales para el desarrollo del rubro, lo que puede asociarse a condiciones deficientes para el secado que limitan la obtención de producto que llegue a los estándares de calidad exigidos por los mercados.

El estudio reveló una importante variabilidad de rendimiento entre predios de la zona sur del país, con valores entre 200 y 1684 kg/ha en cultivos a campo y 64 a 2124 g/m² en condiciones de invernáculo. Esto indica que hay un amplio margen para mejorar el rendimiento en los predios. Los mayores rendimientos fueron obtenidos en los cultivos con mayor densidad de plantación y mayor fracción PAR interceptada a inicio de cosecha, es decir con mayor desarrollo de follaje por superficie antes de empezar la cosecha. Densidades de plantación menores a 5000 pl/ha a campo y 2 pl/m² en invernáculo presentaron rendimientos más bajos que con densidades mayores. Como sucede en otros cultivos hortícolas donde se aplicó esta metodología (tomate, boniato y frutilla) la intercepción de luz es un parámetro clave para explicar el rendimiento obtenido (Dogliotti et al., 2021). Se definió un rendimiento máximo (línea frontera) para cada nivel de PAR interceptado a inicio de cosecha, que indica el rendimiento alcanzable. En este estudio la variación en la fracción PAR interceptada por los cultivos se pudo explicar por diferencias en la densidad de plantación, la materia orgánica del suelo y variables relacionadas a la nutrición de la planta (nivel de potasio, nitrógeno y fósforo). En este sentido, mayor contenido de nutrientes foliar y en savia, mayor contenido de materia orgánica de suelo y mayor densidad de plantación se asociaron a mayor fracción PAR interceptada a inicio de cosecha. La correlación fue negativa entre la fracción PAR interceptada y el largo del ciclo. Esta relación requiere mayor investigación

A pesar de la importancia de este factor en explicar el rendimiento obtenido, se observó una importante variación para cada nivel de PAR interceptado que se puede explicar por otros factores que limitan el rendimiento. Se encontró que el RAS del agua utilizada para riego en los cultivos a campo se correlacionó negativamente con el rendimiento indicando una alta sensibilidad del cultivo al alto contenido de sodio en relación al calcio y magnesio en el agua de riego. Esto también se reflejó en la correlación negativa que se observó entre el nivel de sodio medido en brotes y la fracción PAR interceptada. Las plantas de cannabis de variedades textiles, muestran una tolerancia moderada a la salinidad, con mucha variación entre variedades (Cheng et al., 2016).

En el caso de los cultivos de invernáculo los factores limitantes del rendimiento estuvieron relacionados a la nutrición con nitrógeno y potasio. Los cultivos con mayores niveles presentaron mayor rendimiento. Estudios previos de análisis de brechas de rendimiento en condiciones de invernáculo también encontraron que la variedad, la densidad de plantas, la intensidad de luz (luz artificial) y la fertilización fueron los aspectos clave que explicaron la variabilidad de rendimientos en cannabis (Backer et al., 2019).

Este trabajo puso foco sobre los factores limitantes del rendimiento para identificar caminos para la mejora de la productividad de los cultivos a nivel de chacras. En este rubro, dada la importancia que tiene la calidad de las flores cosechadas, y el gran peso que tiene el secado y la poscosecha en la calidad final, sería necesario complementar este trabajo poniendo énfasis en estos aspectos. De esta forma, identificar aspectos a mejorar globalmente el resultado final del cultivo.

Por otra parte, también sería conveniente realizar experimentos parcelarios en condiciones controladas con el fin de identificar aquellos niveles de fertilización óptima, crítica y tóxica de los distintos nutrientes, como también la demanda de agua por cultivo. Además, estudiar las distintas densidades de trasplante que optimizan el uso de recursos, que logren alcanzar el rendimiento potencial. También, otro aspecto que carece de estudio es el efecto de los diferentes tipo de podas (apical, basal y sanitaria) sobre la calidad del producto y el rendimiento final.

Agradecimientos

Agradecemos especialmente a los/as productores y las empresas que participaron de este trabajo y sus técnico/as asesores.

Este trabajo fue financiado por Dirección General de Desarrollo Rural del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (DGDR/MGAP), el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) de Uruguay y contó con el apoyo de la Facultad de Agronomía (UdelaR), DGSA/MGAP, Intendencias de Canelones, Maldonado y San José.

Referencias bibliográficas

- Backer, R., Schwinghamer, T., Rosenbaum, P., McCarty, V., Eichhorn Bilodeau, S., Lyu, D., Ahmed, M.B., Robinson, G., Lefsrud, M., Wilkins, O., Smith, D. L. 2019. Closing the yield gap for cannabis: a meta-analysis of factors determining cannabis yield. *Frontiers in plant science*, 10, 495.
- Berrueta C, Dogliotti S, Franco J. Analysis and Hierarchy of Yield Determinant Factors on Tomato for Processing in Uruguay. 2012. *Agrociencia Uruguay*, 16(2): 39-48.

Disponible

en:

<https://agrocienciauruguay uy/index.php/agrociencia/article/view/537>

Cheng X, Deng G, Su Y, Liu JJ, Yang Y, Du GH, Chen ZY, Liu FH (2016) Protein mechanisms in response to NaCl-stress of salt-tolerant and salt-sensitive industrial hemp based on iTRAQ technology. *Ind Crops Prod* 83:444–452. <https://doi-org.proxy.timbo.org.uy/10.1016/j.indcrop.2015.12.086>

Dogliotti, S.; Scarlato, M.; Berrueta, C.; Barros, C.; Rehermann, F.; Rieppi, M.; Inetti, C.; Soust, G.; Borges, A. 2021. Análisis y jerarquización de factores determinantes de las brechas de rendimiento y calidad en los principales cultivos hortícolas del Uruguay. Serie FPTA-INIA; 91.

Doré, T., Clermont-Dauphin, C., Crozat, Y., David, C., Jeuffroy, M.H., Loyce, C., Makowski, D., Malezieux, E., Meynard, J.M., Valantin-Morison, M., 2008. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis - A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 151–161. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_45

Scarlato, M., Giménez, G., Lenzi, A., Borges, A., Bentancur, O., Dogliotti, S., 2017. Análisis y jerarquización de factores determinantes de las brechas de rendimiento del cultivo de frutilla en el sur del Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)* 21, 43-57.

Uruguay XXI, 2023. El sector Cannabis en Uruguay. Disponible en: <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/af0db6b5f3493abe6dd2692799a0c2f151d7b6fd.pdf>

Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance - A review. *F. Crop. Res.* 143, 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>

Van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., 1997. Concept of production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combination. *F. Crop. Res.* 52, 197–208. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3)