

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**ANÁLISIS DE FACTORES QUE DETERMINAN LA VARIACIÓN EN
RENDIMIENTO DE CULTIVOS DE CÁÑAMO EN EL SUR DE URUGUAY**

por

Imanol ARISMENDES SASTRE

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2024

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. PhD. Santiago Dogliotti

Ing. Agr. Dra. Cecilia Berrueta

Tribunal:

Ing. Agr. PhD. Santiago Dogliotti

Ing. Agr. Dra. Cecilia Berrueta

Ing. Agr. Dra. Mariana Scarlato

Ing. Agr. Marcelo Pizzanelli

Fecha: 14 de octubre de 2024

Estudiante:

Imanol Arismendes Sastre

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y amigos, quienes nunca dudaron de mis capacidades y me brindaron su apoyo incondicional.

A mis tutores, Ing. Agr. PhD. Santiago Dogliotti e Ing. Agr. PhD. Cecilia Berrueta, quienes me acompañaron en este camino y siempre mostraron total predisposición para conmigo.

Al equipo que formo parte del proyecto “Cáñamo en Uruguay: Primer diagnóstico agronómico” (MGAP, DGSA, INIA).

A mis docentes, quienes compartieron su conocimiento para formarme como profesional.

A la Facultad de Agronomía.

MUCHAS GRACIAS.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. INTRODUCCIÓN	13
2.1.1. Historia del cáñamo.....	13
2.1.2. Situación actual de la producción de cáñamo	14
2.1.2.1. Mundial.....	14
2.1.2.2. Nacional.....	14
2.1.3. Taxonomía	15
2.1.4. Botánica	17
2.1.5. Química.....	20
2.2. BIOLOGIA.....	21
2.2.1. Etapa Vegetativa	21
2.2.2. Floración	22
2.3. TECNICAS DE CULTIVO Y POSTOSECHA.....	23
2.3.1. Propagación.....	23
2.3.2. Poda.....	24
2.3.3. Cosecha	25
2.3.4. Postcosecha	25
2.4. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO	25
2.4.1. Variables determinantes del rendimiento.....	26
2.4.1.1. Radiación incidente	26

2.4.1.2. Fotoperíodo y calidad de luz.....	27
2.4.1.3. Temperatura.....	28
2.4.1.4. Humedad del aire.....	28
2.4.1.5. Densidad de siembra.....	28
2.4.2. Variables limitantes del rendimiento	29
2.4.2.1. Agua.....	29
2.4.2.2. Suelos.....	29
2.4.2.3. Fertilización	30
2.4.3. Variables reductoras del rendimiento.....	31
2.4.3.1. Enfermedades	31
2.4.3.2. Plagas.....	32
2.4.3.3. Malezas.....	32
3. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	34
3.2. SEGUIMIENTO DE LOS CULTIVOS	36
3.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	39
4. RESULTADOS.....	40
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS PREDIOS.....	40
4.1.1. Características generales de los sistemas prediales.....	40
4.1.1.1. Principales limitantes del rubro según productores	42
4.1.2. Producción a Campo	43
4.1.2.1. Fechas de siembra y trasplante, densidad de plantación y variedades..	43
4.1.2.2. Manejo de podas y raleos	45
4.1.2.3. Sistematización.....	46
4.1.2.4. Propiedades químicas del suelo	46
4.1.2.5. Manejo de la fertilización	48
4.1.2.6. Recursos Hídricos.....	48
4.1.3. Producción bajo Invernáculo.....	49

4.1.3.1. Características generales de los invernáculos	50
4.1.3.2. Fechas de siembra y trasplante, densidad de plantación y variedades..	51
4.1.3.3. Manejo de podas y raleos	52
4.1.3.4. Sistematización.....	53
4.1.3.5. Análisis químico del suelo.....	53
4.1.3.6. Manejo de la fertilización	55
4.1.3.7. Recursos Hídricos.....	55
4.2. POSTCOSECHA	56
5. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE CÁÑAMO EN CAMPO E INVERNÁCULO EN URUGUAY	58
5.1. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMATICA.....	58
5.2. CARACTERIZACIÓN DEL RENDIMIENTO COMERCIAL	59
5.2.1. Relación entre el rendimiento obtenido, variables determinantes, limitantes del rendimiento de cultivos a campo.....	60
5.2.2. Relación entre el rendimiento obtenido, variables determinantes, limitantes del rendimiento de cultivos bajo invernáculo	65
5.2.3. Factores reductores del rendimiento en cultivos a campo e invernáculo ..	69
6. DISCUSIÓN.....	70
6.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SECTOR	70
6.2. RENDIMIENTO	71
7. CONCLUSIONES	74
8. BIBLIOGRAFIA.....	76
9. ANEXOS.....	88

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.	Página
Tabla 1 Empresas y superficies de cultivo registradas en el MGAP en 2021	35
Tabla 2 Número de empresas y predios seleccionados para el estudio según departamento	36
Tabla 3 Número de predios y cultivos a campo seleccionados por departamento y zafra	43
Tabla 4 Fechas de siembra y trasplante en cultivos a campo según zafra.....	44
Tabla 5 Densidades de plantación máximas, mínimas y promedio según zafra	44
Tabla 6 Máximos, mínimos y promedio de materia orgánica del suelo, calcio y potasio intercambiable y fosforo	47
Tabla 7 Valores máximos, mínimos y promedios de pH, acidez titulable y saturación de bases	48
Tabla 8 Máximos, mínimos y promedios de pH, conductividad eléctrica y bicarbonatos del agua de riego	49
Tabla 9 Cantidad de productores, cultivos y superficie en cultivos en invernáculo según zafra.....	50
Tabla 10 Valores de Transmisividad (%) del invernáculo según zafra	51
Tabla 11 Fechas de siembra y trasplante en cultivos bajo invernáculo	51
Tabla 12 Densidades de siembra máximas, mínimas y promedio en invernáculo según zafra	52
Tabla 13 Máximos, mínimos y promedio de las distintas variables de análisis de suelo según zafra	54
Tabla 14 Máximos, mínimos y promedio de distintas variables de análisis de suelo	55
Tabla 15 Máximos, mínimos y promedio de algunas variables de análisis de agua según zafra	56
Tabla 16 Datos promedios de radiación, precipitaciones, temperatura y humedad relativa según zafra y departamento	59
Tabla 17 Rendimientos máximos, mínimos y medios para ambas zafras según departamento	60
Tabla 18 Correlaciones entre el rendimiento por superficie, las variables determinantes y limitantes en cultivos a campo	61
Tabla 19 Relación entre el % de PAR interceptado y otras variables medidas en cultivos a campo	61
Tabla 20 Relaciones entre el porcentaje de MOS y algunas variables limitantes del rendimiento	62

Tabla 21	Correlaciones de variables determinantes y limitantes del Rendimiento para ambas zafras en cultivos bajo Invernadero	66
Tabla 22	Relación entre el % PAR interceptado y otras variables medidas.....	67

Figura No.		Página
Figura 1	Flor masculina (a y b) y flor femenina (c y d)	17
Figura 2	Cultivo en estado de floración avanzada.....	18
Figura 3	Tricomas presentes en hojas y pistilos	19
Figura 4	Inflorescencia femenina	20
Figura 5	Plántula (a) y planta de cannabis en estado vegetativo (b)	22
Figura 6	Factores que afectan el rendimiento.....	26
Figura 7	Evolución de la superficie plantada a campo e invernáculo	35
Figura 8	Número de empresas según área de cáñamo a campo	40
Figura 9	Número de empresas según área bajo invernáculo	41
Figura 10	Principales problemas o limitantes jerarquizados por los/as productores/as entrevistados	42
Figura 11	Variedades a campo según zafra	45
Figura 12	Variedades utilizadas en invernáculo según zafra.....	52
Figura 13	Factores determinantes del Rendimiento.....	63
Figura 14	Fracción de PAR interceptada a inicio de cosecha y densidad al trasplante	64
Figura 15	Relación entre el rendimiento obtenido y RAS del agua de riego	65
Figura 16	Fracción PAR interceptada por el cultivo en función del contenido de nitrógeno foliar	65
Figura 17	Factores determinantes del rendimiento.....	68
Figura 18	Factores limitantes del rendimiento.....	69

RESUMEN

El cultivo de *Cannabis sp.* ha ganado relevancia en Uruguay tras su despenalización en 2014. Esta investigación tiene como objetivo analizar los factores que determinan la variación en el rendimiento de los cultivos de cáñamo en el sur del país durante las zafra 2021-22 y 2022-23. El estudio se centra en caracterizar los sistemas productivos orientados a la producción de flores con alto contenido de CBD e identificar los principales factores que influyen en el rendimiento del cultivo. Para ello, se aplicó la metodología del diagnóstico agronómico regional. Se trabajó sobre una muestra de 21 empresas en la zafra 2021- 22, con 31 cultivos a campo y 10 cultivos en invernáculo. En la zafra 2022- 23 se trabajó con 10 empresas con 12 cultivos a campo y 10 cultivos en invernáculo. En cada predio se obtuvo información del sistema productivo y los recursos disponibles. A su vez, en cada cultivo se relevó el rendimiento y factores determinantes, limitantes y reductores del mismo.

Los resultados obtenidos revelaron una considerable variabilidad en los rendimientos entre diferentes cultivos. Los principales factores que explicaron esta variabilidad fueron el rendimiento individual por planta, la densidad de plantación y la interceptación de radiación al inicio de la cosecha. Se observó que una mayor densidad de plantación y un mayor contenido de nutrientes foliares se asociaron positivamente con el rendimiento. Además, el contenido de sodio en el agua de riego y en los brotes mostró un impacto negativo significativo en el rendimiento.

Este estudio es de gran relevancia dada la limitada información científica disponible sobre el cultivo de cáñamo tras su legalización, lo que subraya la necesidad de investigaciones adicionales para optimizar la producción y mejorar la calidad del cáñamo en la región.

Palabras clave: *Cannabis sp.*, rendimiento, densidad de plantación, interceptación de luz, nutrientes, diagnóstico agronómico regional

ABSTRACT

The cultivation of *Cannabis sp.* has gained relevance in Uruguay following its decriminalization in 2014. This research aims to analyze the factors that determine yield variability in hemp crops in the southern region of the country during the 2021-22 and 2022-23 seasons. The study focuses on characterizing production systems oriented towards flower production with high CBD content and identifying the main factors influencing crop yield. To achieve this, the regional agronomic diagnostic methodology was applied. A sample of 21 companies was selected for the 2021-22 season, with 31 open-field crops and 10 greenhouse crops. For the 2022-23 season, 10 companies were included, with 12 open-field crops and 10 greenhouse crops. Information on the production system and available resources was collected on each farm. Additionally, for each crop, data on yield and determining, limiting, and reducing factors were recorded.

The results revealed significant variability in yields among different crops. The primary factors explaining this variability were individual plant yield, planting density, and radiation interception at the beginning of harvest. Higher planting density and higher foliar nutrient content were positively associated with yield. Furthermore, the sodium content in irrigation water and shoots showed a significant negative impact on yield.

This study is of great relevance given the limited scientific information available on hemp cultivation following its legalization, highlighting the need for further research to optimize production and improve hemp quality in the region.

Keywords: *Cannabis sp.*, yield, planting density, light interception, nutrients, regional agronomic diagnostic

1. INTRODUCCIÓN

En diciembre de 2013, bajo la presidencia de José Mujica, Uruguay crea una ley que lo convierte en uno de los primeros países del mundo en legalizar la producción y comercialización de Cannabis. La Ley N.º 19.172 (2013) que regula y controla el cannabis en Uruguay, establece la legalización de “la plantación, el cultivo, la cosecha, el acopio para fines de investigación, así como la industrialización para uso farmacéutico, siempre que se realice en el marco de la legislación vigente”.

Al día de hoy (2024), según el Instituto de Regulación y Consumo de Cannabis (IRCCA) hay 4 licencias otorgadas para cultivo psicoactivo de uso recreativo, 12 para cultivo de uso medicinal, 14 para industrialización, 13 para investigación, 8 laboratorios analíticos, 1 para operación zona franca y áreas aduaneras, y según el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) hay 58 licencias para cáñamo industrial. Estas empresas habilitadas para la producción de cáñamo, incluyen la producción de grano como otros fines industriales y medicinales (Uruguay XXI, 2023).

La producción de cáñamo para grano ha ganado relevancia en los últimos años debido a sus múltiples aplicaciones y su bajo impacto ambiental. Las variedades seleccionadas son aquellas que optimizan la producción de semillas, las cuales son ricas en aceites y proteínas de alto valor nutricional. Los productos derivados del cáñamo para grano incluyen aceite de cáñamo, utilizado tanto en la industria alimentaria como en cosmética; harina de cáñamo, empleada en productos de panadería y alimentos saludables; y suplementos proteicos, que son cada vez más populares en la nutrición deportiva. Además, las semillas de cáñamo se están valorando como un superalimento por su perfil nutricional equilibrado de ácidos grasos omega-3 y omega-6. La adaptación del cáñamo a diferentes tipos de suelo y su capacidad para crecer con un uso moderado de insumos agrícolas hacen de este cultivo una opción atractiva en sistemas de producción sostenible.

En los últimos años, ha crecido significativamente la demanda de flores con alto contenido de cannabidiol (CBD) y bajo en tetrahidrocannabinol (THC). Debido a la alta rentabilidad que se especula tiene este cultivo y los amplios márgenes que se pueden generar con productos de calidad "Premium", se ha vuelto atractivo para pequeños y medianos productores y empresarios. La Dirección General de Servicios Agrícolas (DGSA) del MGAP otorga licencias para operar con cáñamo no psicoactivo, lo que

incluye las actividades de cultivo, cosecha y almacenamiento, siempre que el contenido de THC en las plantas sea inferior al 1% (Decreto N.º 46/015, 2015).

En Uruguay, al igual que en prácticamente todo el resto del mundo, la ilegalidad histórica de operar con el cultivo de cannabis ha resultado en una notable falta de conocimiento científico confiable sobre su crecimiento y desarrollo. Esta carencia de información, junto con la falta de experiencia para llevar a cabo las distintas etapas y variantes del proceso productivo, representa una gran limitante para el desarrollo del sector.

Un primer paso para diseñar una estrategia de investigación y generación de tecnología que apoye el desarrollo del cultivo de cáñamo 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 trabajo tiene como objetivo caracterizar los sistemas productivos de cáñamo destinados a la producción de flores con alto contenido de CBD e identificar los principales factores que determinan el rendimiento del cultivo en la región sur del país durante las zafas 2021-2022 y 2022-2023. La metodología utilizada fue el diagnóstico agronómico regional (Doré et al., 2008), aplicado previamente para estudiar la variabilidad de rendimientos y sus principales causas en cultivos como el tomate de industria (Berrueta et al., 2012), frutilla (Scarlato et al., 2017), tomate en invernáculo, cebolla y boniato (Dogliotti et al., 2021) en Uruguay.

El trabajo que se presenta a continuación, se desarrolla bajo un proyecto en el cual trabajaron conjuntamente Facultad de Agronomía, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), MGAP, las intendencias de Canelones y Maldonado, y los productores que operan con cannabis bajo la licencia de la DGSA.

2.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.INTRODUCCIÓN

La prohibición histórica del cannabis ha limitado la investigación científica sobre su producción, dejando a los cultivadores depender de guías y recursos en línea basados en gran medida en información anecdótica. En la última década, las regulaciones que rodean la producción y el uso de cannabis, especialmente con fines medicinales, se han liberalizado cada vez más (Chandra et al., 2017), lo que permite la investigación en este campo.

2.1.1.Historia del cáñamo

El cáñamo ha sido cultivado por el hombre en el mundo para cubrir infinidad de necesidades, durante miles de años. Los primeros cultivadores se creen fueron originarios de China, y comenzaron la producción para la fabricación de cuerdas y redes de pesca alrededor del año 4000 a. C. (Lu & Clarke, 1995); de manera continua hasta que se expandió fuera de fronteras en el siglo III a. C. (Roulac, 1997).

El cáñamo ingresó a Europa, al igual que las especias, por las rutas tradicionales del comercio. La industrialización de papel en Europa, a partir de fibras de cáñamo, se remonta al año 1150 d. C., cuando los Moros españoles construyeron la primera fábrica de papel. Durante siglos el cáñamo y el lino dominaron los cultivos para fibra en Europa, Asia y Norte América; siendo el cáñamo universalmente utilizado para la fabricación de las velas y las cuerdas de los barcos que permitieron la colonización y el posterior comercio con el Nuevo Mundo; o con propósitos militares (Roulac, 1997).

En 1937 el gobierno de Estados Unidos promulgó la Ley de Tributación de la Marihuana, que ilegalizó y criminalizó la marihuana, la variedad de *Cannabis sativa L.* que produce altos niveles de tetrahidrocannabinol. El cáñamo fue asociado con la marihuana y su cultivo eventualmente cayó bajo el control de la Agencia de Administración de Drogas de los Estados Unidos (DEA) (Roulac, 1997). Cultivar cáñamo no fue declarado ilegal, pero los permisos y requerimientos que solicitaba la DEA a los productores, hizo que muchos dejaran de cultivarlo (Roulac, 1997), hasta que finalmente en el año 1958 la DEA dejó de emitir permisos para su producción según Wool y Khot (2001) como se cita en Fassio et al. (2013). Muchas naciones coloniales y europeas también ilegalizaron el cultivo de cáñamo luego de la Segunda Guerra Mundial (Merfield, 1999).

En diciembre de 2013 Uruguay se convirtió en el primer país del mundo en legalizar la producción y consumo de cannabis para uso recreativo, medicinal e industrial; la Ley número 19.172 reguló el cannabis recreativo de manera específica y el medicinal e industrial de manera más genérica (Uruguay XXI, 2023). Varios países comenzaron a transitar caminos similares: Argentina, Brasil, Colombia, México, Paraguay Alemania, Australia, Canadá, España, Israel, Portugal y Suiza (Uruguay XXI, 2023).

En diciembre de 2020, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) eliminó al cannabis de la Lista IV de la Convención Única de Estupefacientes, reconociendo así su utilidad médica y seguridad (Uruguay XXI, 2023). La industria mundial de cannabis legal ha tenido un crecimiento acelerado en los últimos años. Se espera que el mercado legal de cannabis a nivel global, estimado en USD 12 mil millones (mm) en 2018, llegue a USD 166 mil millones (mm) en 2025 (Ramírez, 2019).

2.1.2. Situación actual de la producción de cáñamo

2.1.2.1. Mundial

Actualmente, las leyes sobre el cannabis están cambiando rápidamente en todo el mundo, con la legalización del uso médico apareciendo en muchas jurisdicciones, seguido de la legalización del uso recreativo (Backer et al., 2019). Cerca de 30 países han legalizado alguna forma de producción y comercialización del cannabis, frente a solo cinco países en 2014, y se espera que muchos otros lo hagan en el futuro próximo (Ramírez, 2019).

El 2022 fue un año de avances para el cannabis de uso recreativo: la legalización del cannabis con alto contenido de THC para fines no médicos se visualiza como una posibilidad real en varios países del mundo. La cadena mundial de suministro se está diversificando lentamente con incremento de las compras externas. En la actualidad países como Alemania, Dinamarca, Finlandia y Australia se convirtieron en importadores relevantes (Uruguay XXI, 2023).

2.1.2.2. Nacional

Son 58 las empresas que están habilitadas por el MGAP para cultivar cáñamo, mientras que 10 empresas poseen licencias para comercializar estos productos, generalmente oficiando de traders/ brokers. Éstas abarcan un área total de 231 hectáreas al aire libre. Además, cuentan con instalaciones de cultivo cubiertos que suman 83000

m². Se estima que el rendimiento promedio en los cultivos bajo invernadero oscila entre 500 y 1,000 kilogramos de flores por hectárea con 15% de humedad (Uruguay XXI, 2023).

Los cultivos de cannabis están distribuidos en varias zonas del país y abarcan un total de 14 de los 19 departamentos, pero con una clara concentración en el sur y litoral. Canelones concentra el 30% de las firmas de cultivo de cáñamo, con un total de 18 empresas instaladas, siendo además el departamento con mayor área de cultivo a cielo abierto e invernáculo. Maldonado, por su parte, cuenta con el 20% de las empresas, el 17% de las hectáreas a cielo abierto y el 20% de los cultivos en invernáculo. Asimismo, es importante mencionar que Montevideo, a pesar de contar solamente con dos empresas, es el segundo departamento con mayor área de invernadero. Tanto Paysandú como Durazno se caracterizan por tener pocas empresas, pero concentran grandes extensiones de cultivo para grano (Uruguay XXI, 2023).

En 2023 se otorgó la primera habilitación por parte del MGAP y Bromatología de la Intendencia de Canelones para el uso del grano de cáñamo en la industria de los alimentos. De esta forma se busca aprovechar la cualidad del cáñamo como superalimento para desarrollar una industria previamente inexplorada. En resumen, Uruguay evidenció un fuerte impulso en la industria del cannabis como resultado de un marco regulatorio pionero en el mundo, que permitió el desarrollo de un nuevo ecosistema empresarial en el país con la aparición de un importante número de emprendimientos, la instalación de empresas extranjeras y la creación de nuevos puestos de trabajo en diversos rubros y actividades de la Economía (Uruguay XXI, 2023).

2.1.3. Taxonomía

En 1753, el botánico suizo y padre de la taxonomía Carl Linnæus reconoció y nombró la especie *Cannabis sativa* (C. sativa) como un cultivo, en su trabajo llamado *Systema Naturae* (Iversen, 2000; Matthews, 1999). La taxonomía oficial utilizada hoy día es *Cannabis sativa* L., donde L. hace referencia al propio Linnæus (Fassio et al., 2013).

El género *Cannabis*, de la familia Cannabaceae, incluye especies herbáceas anuales y dioicas. Durante mucho tiempo, el estatus taxonómico del género no fue concluyente, y el número de especies de *Cannabis* sigue siendo controvertido (Chandra et al., 2017; Hillig, 2005; McPartland, 2018; Small et al., 1976). Actualmente, parece generalmente aceptado que el género incluye tres especies, conocidas como *Cannabis*

sativa (*Cannabis sativa* var. *sativa*), *Cannabis indica* (*Cannabis sativa* var. *indica*) y *Cannabis ruderalis* (*Cannabis sativa* var. *spontanea*) (Clarke, 1999a; Matthews, 1999). Sin embargo, McPartland et al. (2000) corrigen esta afirmación agregando otra especie: *Cannabis afghanica* (*Cannabis sativa* var. *afghanica*), la cual es comúnmente confundida con *C. indica* por los productores de marihuana (Fassio et al., 2013).

El cruzamiento intensivo entre subespecies dio como resultado la eliminación de las diferencias y características únicas de cada población, y determinar el origen de los cultivares modernos se ha convertido en un desafío (McPartland, 2018). Por otro lado, el mestizaje de *Cannabis* ha contribuido a la enorme diversidad fenotípica y química de los cultivares de *Cannabis* que se utilizan hoy en día (Andre et al., 2016; Hazekamp et al., 2016).

Los diferentes quimiotipos de *Cannabis* contienen numerosos compuestos químicos, como los cannabinoides, que se sabe que ejercen diversos efectos farmacológicos. La morfología y el perfil de cannabinoides dependen de factores genéticos y ambientales. Para un productor de cannabis medicinal, es importante el rendimiento y la producción estable y uniforme de un compuesto cannabinoide específico o una proporción entre los diferentes cannabinoides a lo largo del dosel y entre los ciclos de crecimiento (Magagnini et al., 2018).

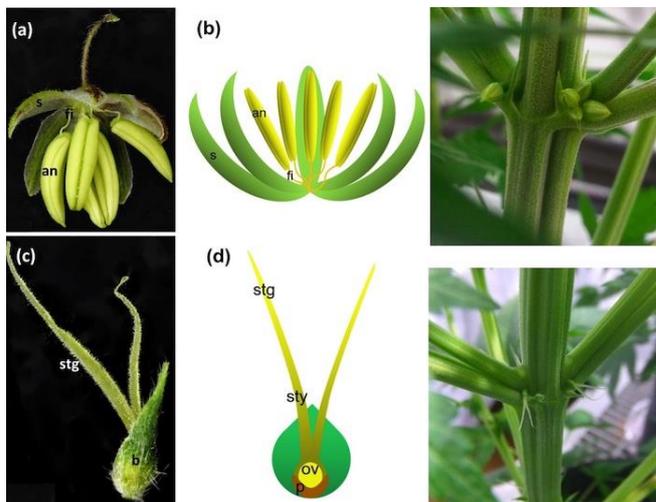
Los dos principales cannabinoides, THC y CBD, se utilizan para clasificar el cannabis (Hilderbrand, 2018; Piluzza et al., 2013). La diferenciación entre marihuana y cáñamo a menudo se basa en el contenido de THC de la biomasa de cannabis. El extracto de cannabis con un porcentaje de THC superior al 0,3% se clasifica como un producto de marihuana medicinal, mientras que *Cannabis sativa* L. con un contenido de THC inferior al 0,3% se cultiva como cáñamo (Hilderbrand, 2018). Además, se han distinguido y clasificado tres quimiotipos de *Cannabis sativa* L., determinados por las proporciones relativas de THC y CBD: tipo droga (THC es el cannabinoide predominante, conocido como marihuana), tipo intermedio (ambos THC y CBD están presentes en proporciones significativas) y tipo fibra (CBD es el cannabinoide predominante, conocido como cáñamo) (Piluzza et al., 2013). Esta diferenciación basada en el contenido de cannabinoides o cultivares de cannabis es inadecuada, particularmente para la industria médica, ya que no refleja ni coincide con las propiedades terapéuticas y médicas (Russo, 2019).

2.1.4. Botánica

El cannabis es una hierba anual predominantemente dioica (las flores masculinas y femeninas se producen en plantas separadas) y ocasionalmente monoica, es decir, hermafroditas (Chandra et al., 2017). Tiene dos etapas de crecimientos bien marcadas, vegetativa y de floración, que son controlados por fotoperíodo (Frag & Kayser, 2015).

Figura 1

Flor masculina (a y b) y flor femenina (c y d)



Nota. s: sépalo. an: antera. fi: filamento. stg: stigma. sty: stilo. b: bractea. p: ovario ov: óvulo. Adaptado de Kannabia Seed Company (2022).

Los tallos de la planta de cannabis son erectos, a menudo huecos, de 0,2 a 6 m de altura, dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo. Las plantas macho son delgadas y altas. Las plantas femeninas son mucho más robustas, con la edad la planta de cannabis crece como un árbol (Chandra et al., 2017). Los cultivares más altos, en condiciones ideales, pueden crecer hasta 11 cm por día, y crecimientos de 2 cm por día son comunes durante la etapa más rápida de crecimiento (Merfield, 1999).

Figura 2

Cultivo en estado de floración avanzada



El cannabis florece cuando detecta la llegada del otoño, debido al acortamiento de los días. Esto permite que las plantas germinadas tardíamente completen su ciclo vital de manera acelerada (Leggett, 2006). *Cannabis sativa* L. es anemófila, por lo que las flores femeninas son fertilizadas por polen masculino transportado por el viento, tras lo cual desarrollan semillas que maduran en un período de 3 a 6 semanas (Clarke, 1999a).

Los tricomas forman un gran grupo de estructuras vegetales que son apéndices epidérmicos uni o multicelulares, clasificados por su origen, forma, función y secreción (Werker, 2000). Estas estructuras son responsables de la síntesis y almacenamiento de cannabinoides y terpenos en *C. sativa* L., acumulándose en cabezas de resina (Hudson, 1963). Protegen a las plantas del estrés por la luz (Lydon et al., 1987), el calor intenso (Lapinjoki et al., 1991; Levin, 1973) y la presión de los herbívoros (Alahakoon et al., 2016; Pillemer & Tingey, 1976).

Figura 3

Tricomas presentes en hojas y pistilos



Todas las partes aéreas de la planta de cannabis están cubiertas de tricomas y pueden clasificarse como "glandulares" o "no glandulares" (Dayanandan & Kaufman, 1976). Los tricomas glandulares contienen más compuestos bioactivos/psicoactivos que los tricomas no glandulares (Livingston et al., 2020; Raman et al., 2017). Los tricomas glandulares se encuentran en todas las partes anatómicas de la planta, excepto el hipocótilo y el cotiledón, y los tricomas no glandulares se encuentran en tallos, hojas, pecíolos, estípulas, brácteas y tépalos (Raman et al., 2017).

La máxima concentración en cannabinoides se puede encontrar en las inflorescencias femeninas (alrededor del 10 % de la composición de las flores), pero también están presentes en los pelos celulares y glandulares de la superficie de las hojas. Solo una cantidad insignificante está contenida en el tallo y las semillas (Cas Dei et al., 2020). La biosíntesis óptima de cannabinoides y terpenos en los tricomas glandulares es de suma importancia para la calidad de los cogollos (El-Alfy et al., 2010; Friedman & Devinsky, 2015).

Figura 4*Inflorescencia femenina***2.1.5. Química**

Una característica distintiva del género *Cannabis* es la producción de una enorme diversidad de compuestos llamados cannabinoides, llamados así porque no se producen en altos niveles en ninguna otra especie de planta (Bauer et al., 2008). Los cannabinoides son un grupo de al menos 74 compuestos terpenofenólicos (ElSohly & Slade, 2005; Radwan et al., 2008) responsables de muchos de los efectos medicinales y psicoactivos del consumo de cannabis (Poklis et al., 2010).

Los metabolitos especializados con potencial de bioactividad (cannabinoides, terpenos y flavonoides) se producen y acumulan en los tricomas glandulares que son muy abundantes principalmente en las inflorescencias femeninas (Andre et al., 2016; Chandra et al., 2017; Hammond & Mahlberg, 1977; Raman et al., 2017).

Algunos cannabinoides, como el THC y el CBD, han sido ampliamente estudiados por sus propiedades psicoactivas y medicinales (Elzinga et al., 2015; Mechoulam et al., 1970; Vemuri & Makriyannis, 2015), pero las propiedades medicinales de otros cannabinoides y las interacciones con los cannabinoides siguen siendo en su mayoría desconocidas (McPartland & Russo, 2001; Russo, 2011). En las plantas vivas, los

cannabinoides existen en gran medida como ácidos carboxílicos como el tetrahidrocannabinólico (THCA) y el cannabigerólico (CBDA) (Muntendam et al., 2012). Estos ácidos se descarboxilan durante el almacenamiento (Ross & ElSohly, 1997; Taschwer & Schmid, 2015) y al calentarse (Kimura & Okamoto, 1970) para convertirse en cannabinoides neutros, como el THC y el CBD (Caplan et al., 2019).

Los cannabinoides se acumulan principalmente durante la etapa de floración, pero el momento de la concentración máxima de cannabinoides varía según el quimiotipo y el cultivar. Las variedades de quimiotipo I tienen una alta proporción de THCA: CBDA (>1.0), mientras que las variedades de quimiotipo II tienen una proporción intermedia (generalmente 0.5–2.0) (Pacífico et al., 2008). Para el quimiotipo I, la concentración máxima de THCA se alcanza aproximadamente en la semana 9 de la etapa de floración, y para el quimiotipo II, el pico es aproximadamente en la semana 7. El pico de CBDA en el quimiotipo I ocurre aproximadamente en la semana 11 de la etapa de floración, mientras que en el quimiotipo II varía mínimamente a partir de la semana 8 (Aizpurua-Olaizola et al., 2016; Muntendam et al., 2012).

2.2. BIOLOGIA

El ciclo de vida del cannabis incluye dos etapas de crecimiento, vegetativa y reproductiva, que están controladas por el fotoperiodo. Un fotoperiodo de día corto (12 h o menos) desencadena una floración que puede durar de 7 a 12 semanas, dependiendo del cultivar y las condiciones de cultivo (Potter, 2014).

2.2.1. *Etapa Vegetativa*

Durante el crecimiento bajo un fotoperiodo largo, el brote principal de las plantas de cannabis se ramifica monopodialmente, produciendo brotes ramificados alternos. La planta monopodial consiste en numerosos fitómeros, cada uno de los cuales incluye un entrenudo con una gran hoja palmeada fotosintética compuesta (hoja de follaje u hoja de abanico) y un fitómero secundario de brotes axilares (Spitzer-Rimon et al., 2019).

Figura 5

Plántula (a) y planta de cannabis en estado vegetativo (b)



Un sistema de raíces fuerte y sin restricciones, resulta esencial para proporcionar el agua y los nutrientes imprescindibles. El crecimiento vegetativo se mantiene con 16 horas de luz o más. Investigaciones han demostrado que las plantas crecen a más velocidad con 24 horas de luz. Siempre que se mantenga un fotoperiodo de 18 horas, continuará en desarrollo vegetativo durante un año o más (Cervantes, 2007).

Al acercarse el final de un crecimiento vegetativo normal, las plantas cultivadas desde semilla desarrollan prefloras. Se trata del momento en que se inicia la formación del cáliz femenino, y no está sujeto al fotoperiodo. Sucede cuando una planta es lo suficientemente mayor para mostrar señales de madurez sexual, sobre la cuarta semana de crecimiento vegetativo, o entre seis y ocho semanas desde la germinación. Las prefloras aparecen detrás de las estípulas en el cuarto o quinto entrenudo del tallo (Cervantes, 2007).

2.2.2. Floración

Después de una fase vegetativa, hay una transición a la fase reproductiva, y el meristemo apical del brote se transforma en un meristemo de inflorescencia. Este último puede producir meristemas axilares que se convierten en inflorescencias de orden superior o en flores individuales. El meristemo de la inflorescencia es, por lo tanto, una etapa transitoria entre dos tipos principales de meristemas: el meristemo vegetativo, que produce hojas y tallos, y el meristemo floral, que termina produciendo los órganos reproductores (Benlloch et al., 2007; Castel et al., 2010; Park et al., 2014; Prenner et al., 2009).

Durante la floración, las pautas químicas y de crecimiento cambian. Los tallos se alargan; las hojas se desarrollan progresivamente con menos folíolos, la producción de cannabinoides se ralentiza al principio y, luego, se acelera y la formación de flores, inicialmente rápida, va frenándose pasado un tiempo. Las necesidades de nutrientes cambian a medida que evolucionan las distintas fases de desarrollo. Las plantas se enfocan en la producción de flores en detrimento del crecimiento vegetativo. La demanda de nitrógeno va decreciendo, mientras, la absorción de fósforo y potasio se incrementa para promover la formación de flores (Cervantes, 2007).

Una vez que aparecen los cálices masculinos, el polen se desarrolla rápidamente, y puede dispersarse en muy poco tiempo. Siempre hay una flor que se abre muy pronto; a menudo, en 24 horas o menos. Para evitar los problemas de polinización, se debe eliminar las plantas macho tan pronto puedan ser identificadas. Una planta macho puede polinizar muchos individuos femeninos. Al ser fertilizadas con el polen, las plantas hembra detienen la alta producción de cannabinoides y comienzan la formación de semillas (Cervantes, 2007).

En la mayoría de las variedades, los primeros signos de flores femeninas se presentan entre una y tres semanas después de inducir la floración con el fotoperiodo inductivo. Los cálices con sus pistilos forman densos racimos o cogollos a lo largo de los tallos. Una vez que el óvulo ha sido fertilizado por el polen masculino, la rápida formación de cálices y la producción de resina se ralentizan, y comienza el desarrollo de la semilla (Cervantes, 2007).

Cuando la floración de las plantas hembra está en su cénit, los pistilos aumentan por todas partes. Pronto, cambian de color; lo más frecuente es que pasen de color blanco a ámbar y, con el tiempo, a marrón rojizo (Cervantes, 2007). Las plantas sin polinizar continúan floreciendo hasta que la formación de cálices y la producción de resina declinan. Durante ese tiempo de floración, los cálices se desarrollan y aumentan a lo largo del tallo, dando un rendimiento más elevado en cogollos de alta calidad que las flores polinizadas y con semillas (Cervantes, 2007).

2.3. TECNICAS DE CULTIVO Y POSTOSECHA

2.3.1. Propagación

Cannabis sativa L. es una planta anual que se cultiva de manera eficiente tanto en interior como en exterior. Sin embargo, cada opción de cultivo tiene sus ventajas y

desventajas. En condiciones exteriores, el ciclo de vida de la planta se completa en cinco a siete meses, dependiendo del momento de la plantación y de la variedad, mientras que, al crecer en interior, la floración puede desencadenarse regulando el fotoperiodo. El cultivo al aire libre se ve afectado por factores como el viento y la lluvia. Otras variables ambientales como la temperatura, la luz, la disponibilidad de agua y el espaciamiento de las plantas también afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas de *Cannabis*, provocando variaciones en la cantidad y calidad de la biomasa (Chandra et al., 2017). Por esta razón, muchos productores deciden desarrollar un sistema de producción bajo invernáculo, donde es posible mitigar el impacto de la temperatura, el viento y la humedad.

Las semillas contienen características genéticas de ambos parentales. En la naturaleza, hay un 50% de posibilidades de que una semilla produzca una planta hembra o una macho (Cervantes, 2007). La variación en la tasa de germinación de las semillas depende de la variedad, la edad de la semilla, las condiciones de almacenamiento y la temperatura del suelo y del agua (Chandra et al., 2017).

La propagación vegetativa, también conocida como clonación, es la técnica de cultivar plantas a partir de esquejes de una planta madre seleccionada, es una excelente manera de generar cultivos de calidad constante (Chandra et al., 2017). Un esqueje es una réplica genética exacta de la planta madre, cada célula de la planta madre lleva un detallado programa de sí misma en su ADN (Cervantes, 2007).

2.3.2. Poda

La poda es una práctica común en el cultivo de *Cannabis sp.*, que ofrece varios beneficios significativos. En primer lugar, permite controlar el tamaño y la forma de la planta, lo cual es particularmente útil en cultivos interiores donde el espacio es limitado. Al eliminar ciertas ramas y hojas, la poda facilita una mejor penetración de la luz en el interior de la planta, lo que puede favorecer el crecimiento de las flores y aumentar el rendimiento. Además, la poda estimula el desarrollo de nuevas ramas y brotes, resultando en una planta más frondosa y con un mayor número de sitios de floración. Al concentrar la energía de la planta en un número reducido de brotes, se pueden obtener flores de mayor tamaño y mejor calidad. Asimismo, al mejorar la circulación del aire dentro del dosel de la planta, la poda contribuye a prevenir enfermedades fúngicas y a reducir la incidencia de plagas (Potter, 2009).

2.3.3. *Cosecha*

El momento de cosecha depende del objetivo productivo: flores, fibra o semilla. Cuando el objetivo es la producción de flores, además de que estas sean del peso y calibre deseados, también se debe prestar atención al contenido de cannabinoides.

Identificar la etapa óptima de cosecha es un paso crítico e importante en el cultivo de cannabis. Se ha observado que los niveles de cannabinoides son más altos durante las horas de la mañana y disminuye gradualmente con las horas del mediodía y de la tarde, por lo que se recomienda la cosecha durante las horas de la mañana. Dentro de la planta, los cogollos maduros superiores se pueden cosechar primero y el resto de los cogollos inmaduros pueden tener tiempo para madurar (Chandra et al., 2017).

2.3.4. *Postcosecha*

La higiene del material debe ser la máxima prioridad durante la cosecha. Si la biomasa se utiliza como material de partida de interés farmacéutico, debe evitarse su contacto con el suelo. Las hojas muertas se pueden quitar de los cogollos maduros antes de secarlos. Dependiendo del tamaño del cultivo, se puede seleccionar la instalación de secado. Para el cultivo a gran escala, las plantas se secan en un galpón con "aire forzado". Una vez que el material vegetal se seca correctamente, se puede manicurar a mano. Existen máquinas automatizadas diseñadas para el procesamiento de las flores secas o frescas (trimeadoras). La biomasa de cannabis seca y procesada se puede almacenar en tambores de fibra sellados y mantenerlos a 18-20 °C para su almacenamiento a corto plazo. Sin embargo, para el almacenamiento a largo plazo, se recomienda -10 °C (congelador) en condiciones de oscuridad (Chandra et al., 2017).

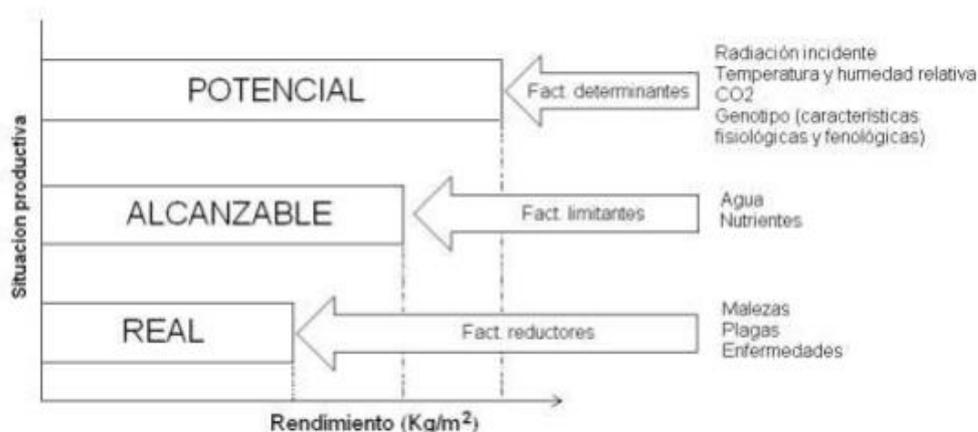
2.4. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO

Según plantean Van Ittersum y Rabbinge (1997) en la Figura 6 los factores que afectan el rendimiento de los cultivos pueden dividirse en tres niveles reflejando situaciones productivas según el nivel de rendimiento sobre el que inciden. En primer lugar, el rendimiento potencial está afectado por factores determinantes como ser la radiación incidente, la temperatura y humedad relativa, y las características del cultivo asociadas al genotipo (variedad) y el manejo de la canopia. En segundo lugar, el rendimiento alcanzable es limitado por la disponibilidad de agua y nutrientes, y sus manejos asociados. Esto último refiere a los nutrientes minerales, a los momentos y dosis de aporte de los diferentes elementos (macro y micronutrientes), y la calidad del suelo en

términos de características químicas (pH, conductividad eléctrica, contenido de nutrientes, el contenido de materia orgánica). En relación al manejo del riego (balance hídrico de cultivo) y fertirriego, y la calidad del suelo en términos de características físicas (estructura, profundidad y textura del horizonte A) e hidrológicas (capacidad de almacenar agua). Finalmente, el rendimiento real está definido por factores reductores como ser la ocurrencia de enfermedades, presencia de plagas y malezas.

Figura 6

Factores que afectan el rendimiento



Nota. Adaptado de Van Ittersum y Rabbinge (1997).

El cultivo de Cannabis se diferencia de otras plantas hortícolas por el producto final que se cosecha. El rendimiento total no se puede calificar solo por el peso de las flores; La composición química del producto final también redonda en interés de los productores y usuarios finales (Magagnini et al., 2018).

2.4.1. Variables determinantes del rendimiento

Las variables determinantes del rendimiento incluyen: las condiciones ambientales durante el crecimiento del cultivo (radiación incidente, temperatura, humedad, concentración de CO₂ y fotoperíodo) asociadas a la fecha de siembra/trasplante del cultivo, la variedad, la densidad de plantas y el manejo de la canopia (Van Ittersum & Rabbinge, 1997).

2.4.1.1. Radiación incidente

La radiación que incide sobre el cultivo es uno de los factores determinantes de su potencial de rendimiento, ya que impacta directamente en el proceso de fotosíntesis

(Pertwee, 2014). Aunque la especie puede crecer en condiciones de sombra, su rendimiento óptimo se alcanza bajo radiación directa en espacios abiertos. Además, muestra una respuesta positiva al aumento de radiación, ya sea natural o artificial (Small, 2016). A medida que aumenta la radiación, la proporción flor/ hoja y el contenido de cannabinoides en la flor también se incrementan. Sin embargo, no se detecta un efecto en la concentración de los diferentes cannabinoides (Potter & Duncombe, 2012). Aguirre-von-Wobeser et al. (2000), afirman que niveles bajos de radiación limitan el desarrollo de la planta, mientras que niveles muy elevados, por encima del punto de saturación, afectan el metabolismo y, por lo tanto, reducen el potencial de rendimiento (Chandra et al., 2008).

2.4.1.2. Fotoperíodo y calidad de luz

La respuesta de la planta a la calidad de la luz ambiental se produce a través de fotoreceptores como los fitocromos y criptocromos (Dutta Gupta & Agrawal, 2017). El mecanismo de los fitocromos es el proceso mediante el cual la planta detecta los cambios en el fotoperíodo a lo largo de las estaciones del año (Azcón-Bieto & Talón, 2008). De esta manera, las plantas pueden censar cuando las horas del día comienzan a reducirse, aumentando la cantidad de horas que ocupa la noche y así, desencadenar respuestas fotoperiódicas propias de una planta que responde al día corto, iniciando su desarrollo reproductivo. El fotoperíodo crítico para la floración del cannabis varía según el genotipo y la latitud de origen. Por ejemplo, algunas variedades de cáñamo tailandés tienen fotoperíodos críticos entre 11 y 12 horas, mientras que el cannabis de origen francés requiere entre 14 y 15.5 horas. Comprender estas diferencias es crucial porque el período óptimo de oscuridad para la floración puede afectar significativamente el rendimiento y la calidad (Clarke, 1999b; De Meijer & Keizer, 1994).

Además, la calidad de la luz influye en el desarrollo morfológico de las plantas, ya que pueden identificar situaciones de sombreado o la dirección de la luz durante el día, lo que afecta varios procesos de desarrollo, conocidos como respuestas fotomorfogénicas (Magagnini et al., 2018; Taiz et al., 2014). Una respuesta común al sombreado es la elongación de los entrenudos y la preferencia por el crecimiento en pocos tallos, como lo ha demostrado Ballaré (2014) en condiciones controladas, donde se observan relaciones R/RL bajas. Además, los receptores de luz azul también regulan los procesos de desarrollo.

2.4.1.3. *Temperatura*

La temperatura del aire fue el factor principal que gobernó la duración desde la siembra hasta la emergencia, donde la tasa de desarrollo aumenta linealmente con la temperatura entre una temperatura base y una temperatura de corte (Lisson et al., 2000).

Ceapoiu (1958) pudo establecer una temperatura ideal de 24 °C para la germinación, algo diferente a la que Haberlandt (1879) propuso como óptima de 35 °C (mínima de 1 a 2 °C y máxima de 45 °C) (Fassio et al., 2013). La especie puede prosperar en condiciones de altas temperaturas siempre que haya suficiente agua disponible. La resina producida por las inflorescencias juega un papel crucial en la regulación térmica de la zona, evitando la desecación de los tejidos en situaciones de excesiva transpiración. Sin embargo, el cultivo es extremadamente sensible a las heladas, especialmente en etapas avanzadas en comparación con la etapa juvenil (Clarke & Merlin, 2013). El rango óptimo de temperatura para el desarrollo de cada variedad está determinado por las condiciones de la región de origen (Chandra et al., 2017). En general, la mayoría de las variedades presentan un rango óptimo de temperatura para la fotosíntesis entre 25 y 30 °C (Chandra et al., 2011). Según Chandra et al. (2008), la tasa fotosintética está influenciada por la radiación y la temperatura en conjunto. Se observó que la máxima tasa se alcanzó a 30 °C, con descensos en la actividad fotosintética a temperaturas más altas, manteniendo el mismo nivel de radiación.

2.4.1.4. *Humedad del aire*

El cannabis crece mejor cuando la humedad relativa (HR) está entre el 40 y el 80% (Frank, 1988). Sin embargo, las HR por encima del 60% promueven el crecimiento de ciertos hongos patógenos. Por lo tanto, el rango óptimo estaría entre el 40 y el 60%, especialmente durante el período de floración (Fassio et al., 2013).

2.4.1.5. *Densidad de siembra*

La densidad óptima de siembra en cualquier locación dependerá de un número de factores como son la variedad seleccionada, las condiciones ambientales locales incluyendo la radiación solar y el suministro de agua, como así también el producto final y por tanto el momento de cosecha (Fassio et al, 2013).

Esta especie se caracteriza por su gran plasticidad, lo que le permite adaptarse a diferentes densidades de siembra (Amaducci et al., 2008). Esto significa que la densidad

de siembra tiene un impacto significativo en el rendimiento. Si la densidad de siembra es baja, los rendimientos por planta aumentan, mientras que, en plantaciones muy densas, los rendimientos por planta disminuyen. Sin embargo, estos aumentos en el rendimiento por planta no siempre resultan en un aumento del rendimiento total, lo que conduce a una baja eficiencia en la utilización del espacio (Drug Enforcement Administration, 1992).

2.4.2. Variables limitantes del rendimiento

Las variables limitantes del rendimiento son las asociadas a la disponibilidad de agua y nutrientes para el cultivo, incluyendo las propiedades físicas y químicas del suelo (Van Ittersum & Rabingge, 1997).

2.4.2.1. Agua

El cannabis no requiere grandes cantidades de agua y puede desarrollarse en condiciones variables de disponibilidad hídrica. Se adapta desde condiciones de relativa escasez hasta humedad considerable. Sin embargo, situaciones extremas de deficiencias o excesos hídricos afectan negativamente al cultivo. En el primer caso, se compromete el desarrollo radicular y foliar (Cervantes, 2006).

Existe una relación significativa entre la tasa fotosintética y la eficiencia de uso del agua por parte del cultivo ($R^2 = 0.92$), medidas en condiciones similares a la demanda atmosférica. Se observó que esta última ocurre en la máxima tasa fotosintética y no en el punto de máxima transpiración por el cultivo. Además, se ha informado que someter el cultivo a estrés hídrico moderado y controlado en momentos específicos conlleva un aumento en la concentración de los cannabinoides principales y en el rendimiento de las inflorescencias (Caplan et al., 2019).

Según Bernstein et al. (2019), niveles elevados de salinidad reducen el crecimiento vegetativo y el rendimiento de las inflorescencias de cannabis. La alta concentración de sales en el agua de riego puede causar estrés osmótico y tóxico en las plantas, afectando negativamente la absorción de nutrientes y el metabolismo general de la planta. Es esencial manejar la calidad del agua de riego para asegurar un crecimiento y rendimiento óptimos del cultivo.

2.4.2.2. Suelos

La especie necesita suelos con buen drenaje para que su amplio sistema radicular se desarrolle correctamente. El anegamiento del suelo favorece la proliferación de hongos

que pueden atacar las raíces y causar daños significativos al cultivo (Clarke & Merlin, 2013).

El cáñamo tiene la capacidad de prosperar en una gran variedad de suelos (Mandolino & Ranalli, 1999; van der Werf, 1994), sin embargo, muestra un crecimiento especialmente vigoroso en suelos con estructura franco limosa, franco arcilloso o arcillo limosa (Robinson & Wright, 1941). Se ha demostrado que es muy sensible a suelos con una estructura deficiente (Clarke, 1999a; Struik et al., 2000).

Además de suelos con adecuada humedad y buen drenaje, el cáñamo necesita que sean ricos en nutrientes. El pH del suelo debe estar por encima de 5,0 (van der Werf, 1994) y por debajo de 7,5. Duke (1983) sugiere pH de 6,5 como óptimo.

El cannabis también se produce en macetas con suelo o sustratos específicos en sistemas hidropónicos. Estas alternativas son más comunes en sistemas de producción en interiores o en invernaderos (Cervantes, 2006).

2.4.2.3. Fertilización

El cannabis requiere una fertilización equilibrada para alcanzar su máximo potencial de rendimiento. Las necesidades nutricionales varían a lo largo del ciclo de crecimiento, con mayores demandas de nitrógeno durante la fase vegetativa y un mayor requerimiento de fósforo y potasio durante la fase de floración (Caplan et al., 2017).

La fertilización excesiva puede conducir a la acumulación de sal en la zona de la raíz, mientras que la fertilización insuficiente puede causar deficiencia de nutrientes y menores rendimientos. La tasa de fertilización sugerida para el cáñamo varía de 50 a 200 kg de nitrógeno ha⁻¹ (Malcevskaja et al., 2011), que es similar a otros cultivos de campo de alto rendimiento como el trigo según Baxter y Scheifelle (2008) como se cita en Caplan et al. (2017). Sin embargo, es difícil basar las tasas de fertilizantes para el cannabis en sugerencias para el cáñamo u otros cultivos debido a las diferencias entre las especies y las condiciones de crecimiento (Wright & Niemiera, 1987).

Según van der Werf (2004), los tres nutrientes que limitan el rendimiento máximo del cultivo son nitrógeno, fósforo y potasio. El nitrógeno es fundamental para el crecimiento vegetativo del cannabis. Una adecuada fertilización nitrogenada promueve un desarrollo vigoroso de las hojas y tallos, lo cual es esencial durante las primeras etapas de crecimiento de la planta (Caplan et al., 2017). El fósforo es crucial para la fase de

floración del cannabis. Una adecuada disponibilidad de fósforo durante esta etapa mejora el desarrollo de las flores y la producción de resina, lo que es vital para la calidad y el rendimiento del cultivo (Saloner & Bernstein, 2020). El potasio desempeña un papel esencial en la regulación del metabolismo del agua y la resistencia a enfermedades en el cannabis. Un suministro adecuado de potasio es crucial para el desarrollo de las flores y para maximizar el rendimiento de la planta (Backer et al., 2019).

Caplan et al. (2017) en su trabajo encontró que el aumento de la tasa de fertilización tiene un efecto de dilución sobre el THC, THCA y CBGA; por lo tanto, recomienda evitar la aplicación excesiva de fertilizantes durante la etapa de floración a pesar del aumento del rendimiento de biomasa. Para maximizar tanto el rendimiento como el rendimiento de cannabinoides, se determinó que la tasa óptima de fertilizante orgánico estaba dentro de un rango que suministraba 212–283 mg de nitrógeno L⁻¹ utilizando el fertilizante orgánico líquido Nutri Plus Organic Bloom durante la etapa de crecimiento de la floración. Las tasas más altas dentro de este rango favorecen un mayor rendimiento floral, mientras que las tasas más bajas favorecen un mayor rendimiento de algunos cannabinoides. Estas recomendaciones podrían generalizarse para fertilizantes y sustratos orgánicos similares; sin embargo, los resultados pueden variar con la variedad de cannabis.

2.4.3. Variables reductoras del rendimiento

Las enfermedades, plagas y malezas son variables reductoras del rendimiento que afectan de manera crítica la productividad de los cultivos. Según Oerke (2006), las pérdidas de cultivos debidas a plagas pueden ser significativas, lo que resalta la importancia de implementar estrategias efectivas de manejo integrado. Estas estrategias son esenciales para mitigar los impactos negativos y asegurar la sostenibilidad agrícola a largo plazo.

Rousserie y Collazo (2022) en su trabajo afirman que los cultivos de cannabis en Uruguay son afectados por diversas plagas y enfermedades. Ninguna de las especies de insectos y ácaros encontradas fue específica del cultivo, la mayoría de ellas polífagas, ya presentes en otros cultivos.

2.4.3.1. Enfermedades

Las tres enfermedades que aparecieron con mayor frecuencia en las visitas a los cultivos relevados fueron la pudrición de inflorescencias asociada a *Botrytis cinerea*, la

podrición de inflorescencias asociada a *Fusarium sp.* y el cancro de tallos y ramas asociado a *Neofusicoccum parvum*. Mientras que las enfermedades más frecuentes en las muestras recibidas fueron el marchitamiento de plantas asociado a *Sclerotium rolfsii*, la pudrición de tallos y ramas asociada a *Botrytis cinerea* y el cancro de tallos y ramas asociado a *Neofusicoccum parvum* (Rousserie & Collazo, 2022).

2.4.3.2. Plagas

Rousserie y Collazo (2022) en su trabajo destacan las siguientes plagas:

- Arañuela roja (*Acarina Tetranychidae*) ocupando el primer lugar de importancia relativa en cuanto a incidencia en condiciones de interior. A campo se registró su presencia, pero con una importancia menor.
- Acaro blanco (*Acarina- Tarsonemidae*) gran importancia por la severidad de sus daños en cultivos en invernadero con destino a la producción de flores. Su aparición se constató solamente en cultivos protegidos.
- Moscas blancas (*T. vaporariorum* o *B. tabaci*) su mayor incidencia se dio en cultivo de interior, causando grandes pérdidas en algunas situaciones, principalmente en los casos en que a misma no recibió ningún manejo desde su detección.
- Pulgones (Hemiptera- Aphidoidea) se trata de una plaga potencialmente importante debido a que su alimentación genera importantes pérdidas en la calidad comercial de las flores, pérdidas de vigor en las plantas y transmisión de virus.
- “Lagartita” *Argyrotaenia sphaeropa*, (Lepidoptera - Tortricidae) es una plaga considerada importante tanto por su frecuencia de aparición, como por los daños causados. Fue una de las plagas más comúnmente encontradas en condiciones de campo y en cultivos en invernadero
- Lagartas, en general no se registraron daños de gran magnitud. Se observaron varias especies alimentándose del follaje.
- San Antonio verde” *Diabrotica speciosa* (Coleóptera - Chrysomelidae). La magnitud de los daños observados fueron muy bajos en todos los casos, sin embargo, su presencia fue muy frecuente.

2.4.3.3. Malezas

Las malezas pueden competir vigorosamente con el cannabis por recursos como agua, nutrientes y luz solar, afectando negativamente su crecimiento y rendimiento. La

gestión adecuada de las malezas es crucial para minimizar estas pérdidas y optimizar la producción de cannabis (Small, 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de trabajo se basó en el diagnóstico, Agronómico Regional desarrollado por Doré et al. (2008) ajustado por Berrueta et al. (2012), Scarlato et al. (2017) y Dogliotti et al. (2021) para cultivos hortícolas en Uruguay.

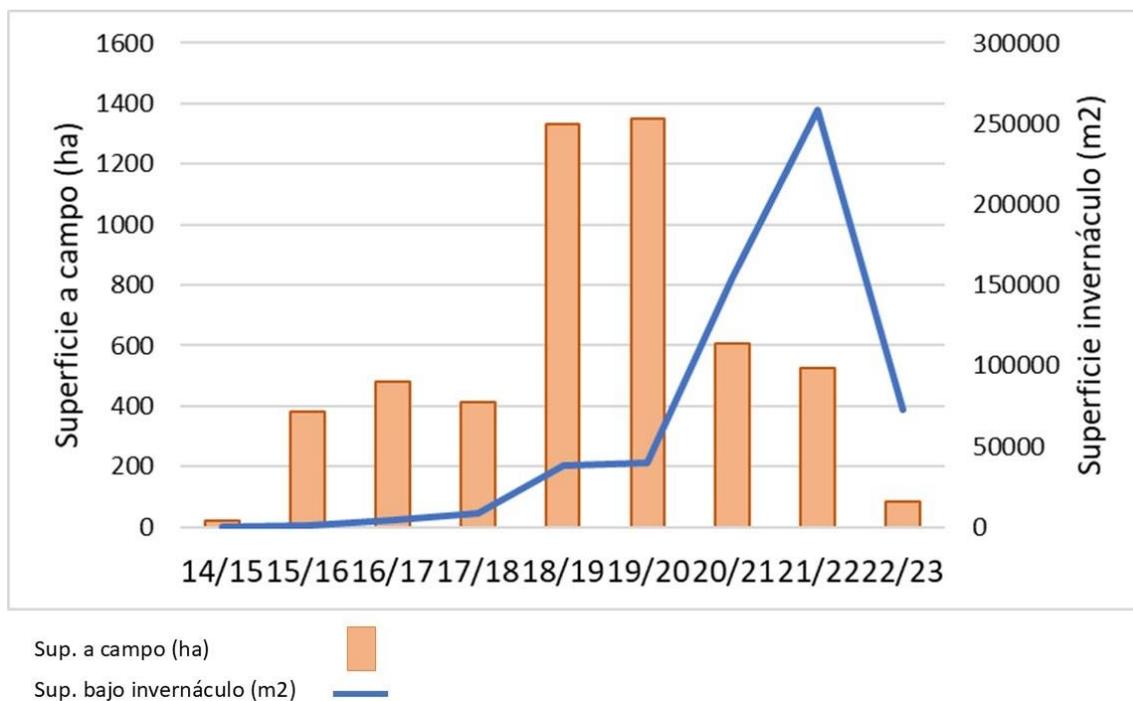
3.1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

La población bajo estudio se definió como los predios de cáñamo 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 la primera zafra (2021/22) el número de empresas registradas era notoriamente superior al de la segunda (zafra 2022/23), donde se produjo una fuerte caída del número de empresas y superficie sembrada (Figura 7). 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, 31 cultivos de campo y 10 de invernáculo (32% de las empresas totales habilitadas). En 2022/23 la muestra se conformó por 10 empresas, 12 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 superficies de cultivo registradas en el MGAP en 2021*

	No. de empresas	Sup. a campo (ha)	Sup. invernáculo (m ²)	% empresas	% sup. a campo	% sup. invernáculo
Canelones	26	84	43041	40	48	47,4
Montevideo	5	3	24172	7,7	1,8	26,6
San José	9	45	6000	13,8	26	6,6
Maldonado	25	42	17521	38,5	24,2	19,3
TOTAL	65	174	90734			

Nota. Sup.: superficie.

Figura 7*Evolución de la superficie plantada a campo e invernáculo*

Nota. Adaptado de Dogliotti et al. (2024).

Tabla 2*Número de empresas y predios seleccionados para el estudio según departamento*

Departamento	Zafra 2021- 2022		Zafra 2022- 2023	
	Número de empresas	Número de Cultivos	Número de empresas	Número de Cultivos
Canelones	14	29	6	7
Maldonado	4	9	4	15
San José	3	3	0	0
Total	21	41	10	22

3.2.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 intercepción 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. Además, en aquellos cultivos que se realizaron podas se registró el tipo (apical, basal y/o sanitaria) y la fecha. 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 Instituto Nacional de Meteorología

(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 transmisividad del mismo usando ceptómetro para determinar la radiación interior y exterior. Para esta determinación, 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 su 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 15 horas. La calidad del plantín se evaluó en una bandeja de 96 plantas representativas antes del trasplante. En la misma se observó estado general, sanidad y uniformidad de los plantines. Se definió una escala visual para cada parámetro con tres niveles (excelente, bueno, deficiente). Para determinar la densidad de plantas por superficie, se realizó un conteo del número de plantas en cuatro parcelas de 10 metros de longitud dentro del área de cultivo. Se registró la distancia promedio entre los canteros y el número de filas por cantero. Esta determinación se llevó a cabo después del trasplante y nuevamente en el momento de la cosecha. Al observar que la densidad no varió entre los diferentes momentos, se utilizó la densidad registrada tras el trasplante.

Además, se midió la fracción de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada por el cultivo antes del inicio de la cosecha. Para ello, 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 entre fila que le corresponde. Las mediciones se realizaron en días totalmente despejados o nublados, entre las 10 y 15 horas. 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. El nitrógeno se analizó por método Kjeldahl y el fosforo por método colorimétrico (Kalra, 1997). 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. Las plagas que se evaluaron fueron: arañuela, mosca blanca, ácaro blanco, lagarta y hormiga. En cuanto a las enfermedades las evaluadas fueron: *Botrytis cinérea*, *Fusarium sp.*, *Oidio sp.*, marchitamiento generalizado y el cancro de tallo. La evaluación consistió en generar una escala del 1 al 3, donde 0: sin presencia, 1: baja incidencia, 2: moderada incidencia y 3: alta incidencia de cada plaga/enfermedad. Las evaluaciones de enfermedades y plagas se realizaron en cada visita con la escala antes mencionada observando el cultivo en su conjunto. Para el análisis se usaron valores promedio de todas las evaluaciones para cada plaga/enfermedad.

Determinación del rendimiento y componentes del rendimiento de flores de cáñamo:

Se definió como componentes del rendimiento, al rendimiento medio por planta (kg y g por planta) y el número de plantas por superficie (plantas/ ha y m²). 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.

3.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información de las variables medidas para cada cultivo se registró en hojas de cálculo en Excel, permitiendo generar una base de datos específica para cada zafra, separando los datos de producción a campo y en invernáculo. Se utilizó estadística descriptiva para caracterizar variables de respuesta (rendimiento y componentes del rendimiento) así como variables determinantes, limitantes y reductoras del rendimiento. Se realizaron correlaciones de Spearman entre los componentes del rendimiento, las variables determinantes, limitantes y reductoras del rendimiento y el rendimiento por superficie. Esto permitió identificar las variables más correlacionadas con el rendimiento del cultivo y jerarquizarlas. Se analizaron ambas zafras en conjunto para aumentar el número de observaciones, aunque se diferenciaron los datos correspondientes a la producción a campo y en invernáculo.

Las variables con correlación significativa con el rendimiento se utilizaron para elaborar diagramas de dispersión y analizar gráficamente su relación con el rendimiento. Se construyó una “Boundary line” (línea de frontera) para la variable fracción de radiación interceptada por el cultivo a inicio de cosecha, por su alta y significativa correlación con el rendimiento. Para ellos se usó la metodología aplicada por Scarlato et al. (2017). La línea de frontera establecida a través de “Boundary points” correspondientes a la mayor respuesta de la variable dependiente para cada valor de la variable independiente (Delmotte et al., 2011), se ajustó un modelo de regresión lineal y se evaluó su ajuste mediante el R^2 y la pendiente entre valores predichos y observados, se utilizó el paquete estadístico Infostat. Para las variables con mayor correlación significativa con el rendimiento se realizaron correlaciones de Spearman entre estas variables y el resto de las variables determinantes, limitantes y reductoras.

4. RESULTADOS

En los Anexos se presenta la información obtenida para cada zafra, correspondiente a los cultivos de campo e invernáculo (Anexos A a Q).

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS PREDIOS

4.1.1. *Características generales de los sistemas prediales*

La mayoría de los predios plantaba una superficie a campo menor a 1 ha (Figura 8). 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 (Figura 9). 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 8

Número de empresas según área de cáñamo a campo

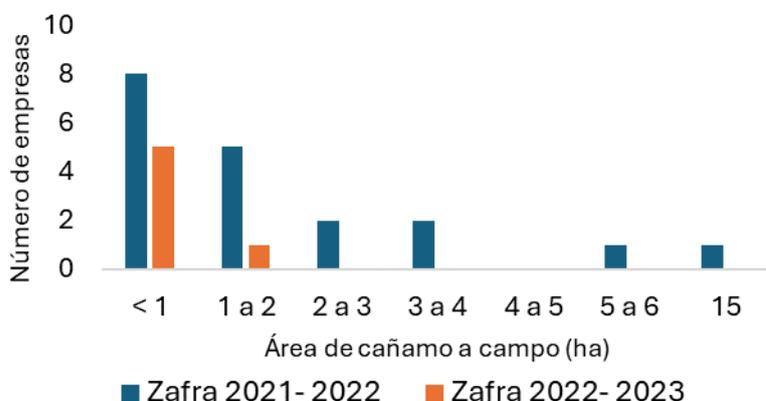
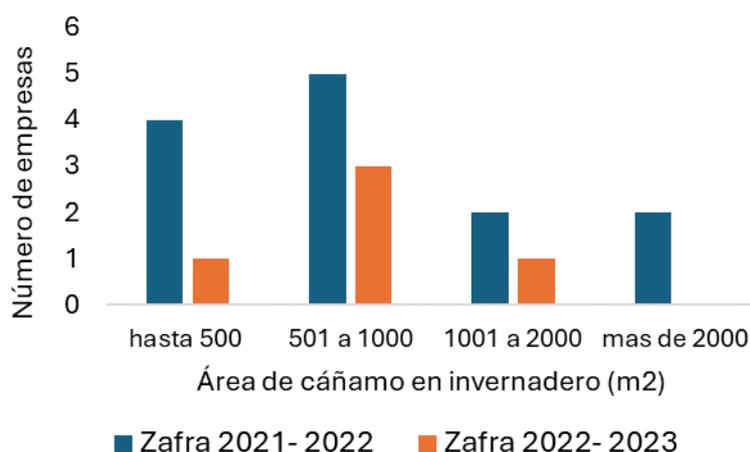


Figura 9

Número de empresas según área bajo invernáculo



En la zafra 2021/22, el 66 % de los productores que participaron del estudio eran propietarios de la tierra (18 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 (4 productores) no contaba con experiencia previa. En la zafra 2022/23, el 50 % 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 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, solamente en un predio coexistían otras actividades agrícolas (horticultura).

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 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 equilibro, donde el 55% de los cultivos fueron instalados a partir de plantines originarios de semilla y el resto de esquejes.

Las fuentes de agua para riego fueron 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 utilizaron riego por goteo, pero solo unos pocos contaban con un sistema automatizado. La mayoría de los predios utilizaba 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.

4.1.1.1. Principales limitantes del rubro según productores

En las entrevistas con los productores, se les brindó la posibilidad de identificar, según su criterio, los principales factores que consideraban limitantes para el desarrollo del sector. Entre los problemas priorizados por los productores, destacaron la comercialización y el acceso a los mercados. Esta limitante fue mencionada como la más importante por 16 de los 21 productores entrevistados durante la zafra 2021/ 22 y por 6 de los 10 productores en la zafra 2022/ 23. Otros problemas señalados incluyen las dificultades en el secado y la postcosecha, los problemas sanitarios durante el cultivo y el limitado acceso al conocimiento y capacitaciones. En cuanto a los problemas sanitarios, se destacó la incidencia de hongos durante la fase de floración (Figura 10).

Figura 10

Principales problemas o limitantes jerarquizados por los/as productores/as entrevistados



4.1.2. *Producción a Campo*

Dentro de los veintidós establecimientos que realizaron producción a campo en la zafra 2021/22, se seleccionaron 32 cultivos para ser monitoreados, conformando un área de 21 ha. En el periodo 2022/23 en los seis establecimientos que realizaron producción a campo se seleccionaron 12 cultivos, conformando un área total de 3,4 ha (Tabla 3).

Tabla 3

Número de predios y cultivos a campo seleccionados por departamento y zafra

Depto.	Zafra 2021- 2022			Zafra 2022- 2023		
	Número de predios	Número de Cultivos	Sup. (ha)	Número de predios	Número de Cultivos	Sup. (ha)
Canelones	12	21	15,2	2	2	0,8
Maldonado	6	7	3,8	4	10	2,6
San José	3	3	1,9	0	0	0
Total	21	31	xx	10	12	xx

Nota. Sup.: Superficie.

4.1.2.1. *Fechas de siembra y trasplante, densidad de plantación y variedades*

En la zafra 2021/ 22 se observaron fechas de siembra y trasplante más tempranas con respecto a la zafra 2022/ 23. En cuanto a los periodos de siembra y trasplante fueron de 55 días y 36 días respectivamente para la primera zafra. Para la segunda fueron de 90 días para ambas actividades (Tabla 4).

Tabla 4*Fechas de siembra y trasplante en cultivos a campo según zafra*

Zafra	Inicio de siembra	Fin de siembra	Inicio de trasplante	Fin de trasplante
2021-2022	1/10	25/11	22/11	27/12
2022-2023	13/10	10/1	15/11	7/2

El trasplante en la mayoría de los predios fue sobre canteros a una distancia de dos metros unos de otros, una sola fila de plantas por cantero, con un metro de distancia entre plantas, determinando en promedio, una densidad de plantación de 4450 plantas ha⁻¹. Un productor no levantó camellones, solamente plantó siete filas a 0,9 m de distancia. En la zafra 2022/23 todos los productores instalaron sus cultivos a campo sobre camellones, la mayoría optó por plantar una fila por cantero, con una densidad promedio de 5623 plantas ha⁻¹ (Tabla 5).

Tabla 5*Densidades de plantación máximas, mínimas y promedio según zafra*

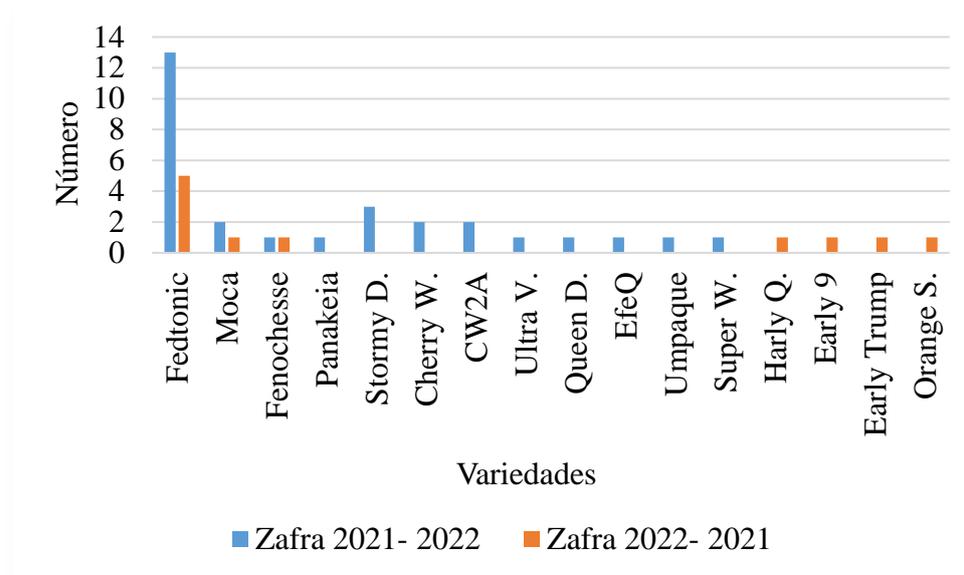
Zafra	Densidad de plantación (plantas ha ⁻¹)		
	máxima	mínima	promedio
2021- 2022	10000	2231	4450
2022- 2023	10000	4762	5623

La variedad más utilizada en ambas zafras fue Fedtonic. La misma estuvo presente en doce de los 32 cultivos y siete de los 12 cultivos evaluados en 2021/22 y 2022/23 respectivamente. Seguido por Stormy Daniels presente en tres cultivos, Moca, Cherry Wine y Charlotte Web (CW2A), presentes en dos cultivos, en la zafra 2021- 2022. En el periodo 2022- 2023, Stormy Daniels y Cherry Wine y CW2A no tuvieron participación,

si Moca, pero solo en un cultivo y con un área total menor a una hectárea. El resto de las variedades fueron utilizadas en un solo cultivo, y las mismas abarcan áreas menores/iguales a 1 ha. Cabe destacar que las únicas variedades que se utilizaron tanto en la zafra 2021/22 y 2022/23 fueron Fedtonic, Moca y Fenocheese (Figura 11).

Figura 11

Variedades a campo según zafra



4.1.2.2. Manejo de podas y raleos

En la zafra 2021/ 22 hubo siete productores que realizaron poda apical y basal, las podas apicales se llevaron a cabo en el periodo comprendido entre el 12/11 y 28/1, mientras que las basales entre el 31/12 y 5/2. En la zafra 2022/23 solamente un productor decidió realizar esta operación, poda apical en una primera instancia el 18/11 y por segunda vez en el periodo comprendido entre el 15/12 y 25/12 acompañado de una poda basal.

Las podas basales fueron realizadas en catorce de los 32 cultivos evaluados en el periodo 2021/22. Seis, realizaron podas basales entre diciembre y enero, periodo donde es esperable que el cultivo se encuentre en estado vegetativo o próximo a iniciar floración, dos de estos productores volvieron a realizarla con el cultivo en estado de floración. La mayoría realizaron una poda basal en el mes de febrero, con el cultivo ya en estado de floración.

Otra práctica fue, 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,

muestran algún signo o síntoma de enfermedad. Esta práctica fue realizada por pocos productores, ya que insume tiempo y mano de obra. En la zafra 2021/ 22 solo se realizó en ocho cultivos y fue en el mes de diciembre y febrero.

En cuanto al raleo de machos, solo hay registro de dieciocho cultivos en la zafra 2021- 2022. 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. En el cultivo 13 en particular, se encontraron once hermafroditas y cuatro machos. Este cultivo era de la variedad Queen Dream. En la siguiente zafra no hay registros de que hubiesen aparecido plantas fuera de tipo.

4.1.2.3. Sistematización

En referencia a la sistematización, no se encontraron grandes problemas en general, tanto en la zafra 2021/22 como en la 2022/23. Todos los productores, a excepción de uno, instalaron el cultivo sobre camellones (canteros), con alturas que variaron de 20 a 30 cm. Como fue mencionado anteriormente, un productor no utilizó canteros, y los cultivos fueron instalados en zonas bajas viéndose afectados por los excesos hídricos de enero de 2022. Otros seis cultivos también fueron instalados en zonas bajas, pero el periodo que los mismos permanecieron bajo anegamiento fue corto.

En la zafra 2022/23, todos los cultivos, salvo uno fueron instalados en zonas altas o con pendientes, y fue una zafra extremadamente seca por lo que no se dieron problemas de anegamiento en ningún caso.

4.1.2.4. Propiedades químicas del suelo

Para la zafra 2021/22, con respecto al contenido de materia orgánica del suelo (%MOS), el máximo fue de 4,81% y el mínimo de 1,08% y un promedio de 2,19%. El cuadro de cultivo donde se registró el mayor valor de % MOS, además de haber sido fertilizado con una enmienda orgánica, se desarrolló sobre un campo anteriormente no utilizado para producción. En contraste, el que presento menor valor de dicha variable, no recibió fertilización orgánica base y se desarrolló en un campo con una larga historia de producción hortícola (Tabla 6).

Para la zafra 2022/23, el % MOS registró un máximo de 3,36 % y un mínimo de 1,87%. Ambos suelos se utilizaron para la producción de cáñamo en la zafra anterior. La diferencia radica en que, el año anterior a la zafra 2021/22, el campo con mayor porcentaje

de materia orgánica se encontraba bajo pastura natural, mientras que el de menor porcentaje se utilizaba para la producción de plantines de distintas especies (vivero).

En cuanto al potasio intercambiable (K, meq/100 g), en el periodo 2021/22 se registró un máximo de 2,17, un mínimo de 0,45 y un promedio de 0,71 meq/100 g. Para el periodo 2022/23, los valores fueron un máximo de 1,16, un mínimo de 0,39 y un promedio de 0,6 meq/100 g (Tabla 6).

Respecto al calcio intercambiable (Ca, meq/100 g), se registró un máximo de 25.1, un mínimo de 3.2 (Tabla 6).

En referencia al fósforo Bray (P, ppm), se registró un valor máximo de >100 ppm, un mínimo de 9 ppm (Tabla 6).

Tabla 6

Máximos, mínimos y promedio de materia orgánica del suelo, calcio y potasio intercambiable y fósforo

	2021- 2022			2022- 2023		
	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
MOS (%)	4,81	1,08	2,19	3,36	1,87	2,46
K int. (meq/100 g)	2,17	0,45	0,71	1,16	0,39	0,6
Ca int. (meq/100 g)	25,1	3,2	9,6	10,1	3,8	7,8
P bray (ppm)	>100	9	32	94,7	14,4	33,5

Nota. int.: intercambiable.

Con respecto al pH, los valores registrados estuvieron entre 5,3 y 7,3 para el periodo 2021/22, y entre 6,9 y 5,64 para el periodo 2022/23. En términos de acidez titulable (meq/100 g), los valores oscilaron entre 5,4 y 0 para la zafra 2021/22, y entre 5,2

y 1,4 para la zafra 2022/23. En cuanto a la saturación de bases (%), en el periodo 2021/22 los valores se situaron entre 100 y 65, y para la zafra 2022/23 entre 87,7 y 63,4 (Tabla 7).

Tabla 7

Valores máximos, mínimos y promedios de pH, acidez titulable y saturación de bases

	2021- 2022			2022- 2023		
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
pH	7,3	5,3	6,1	6,9	5,4	5,6
Acidez titulable (meq/ 100g)	5,4	0	2,7	5,2	1,4	4
Saturación bases (%)	100	65	82,6	87,7	63,4	75,3

4.1.2.5. Manejo de la fertilización

En cuanto a la fertilización, varios productores aplicaron fertilización base antes del trasplante del cultivo y nuevamente al pie del mismo una vez instalado. En la zafra 2021/22, el 62,5 % de los cultivos recibió fertilización base. Las fuentes utilizadas variaron entre fertilizantes como triple dieciséis, triple diecisiete, fosfato de amonio, cloruro de potasio, ácidos húmicos y abono de pollo. Nueve productores optaron por enmiendas orgánicas como el abono de pollo, abono de feedlot o compost, aplicadas antes de la instalación del cultivo. Una vez instalado, la mayoría de los productores utilizó aplicaciones foliares y/o fertirriego con productos de síntesis química. En el 52 % de los cultivos se empleó fertirriego. En la zafra 2022/23, todos los productores utilizaron fertilización base y fertirriego, con la excepción de uno.

4.1.2.6. Recursos Hídricos

En cuanto a los recursos hídricos, las fuentes variaron e incluyeron pozos excavados, pozos semi surgentes, tajamares y arroyos, todos con buena disponibilidad. La mayoría de los productores contaba con pozos semi surgentes. Todos los productores utilizan riego por goteo, generalmente con una cinta de riego por cantero, aunque algunos

utilizan dos. La mayoría de las cintas tiene goteros espaciados a 30 cm y con un caudal de 1 litro por hora, tanto para la zafra 2021/22 como para la 2022/23.

Los análisis de agua se realizaron en doce predios en la zafra 2021/22 y en solo cinco en la zafra 2022/23. En la zafra 2021-2022, los valores de pH registrados estuvieron entre 6 y 7,6, con un promedio de 6,9. La conductividad varió entre 0,11 y 1,29, con un promedio de 0,83. Los bicarbonatos presentes en el agua se registraron entre 0,91 y 10,13, con un promedio de 4,35 Meq L⁻¹ (Tabla 8).

En la zafra 2022/23, los tres análisis de agua realizados mostraron valores de pH entre 6,5 y 8,2, con un promedio de 7,1. La conductividad estuvo entre 0,131 y 1,82, con un promedio de 1. Los contenidos de bicarbonatos presentes en el agua de riego variaron entre 0,8 y 8,58, con un promedio de 4,4 Meq L⁻¹ (Tabla 8).

Tabla 8

Máximos, mínimos y promedios de pH, conductividad eléctrica y bicarbonatos del agua de riego

	2021- 2022			2022- 2023		
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
pH	7,6	6,0	6,9	8,2	6,5	7,1
Conductividad (dS m ⁻¹)	1,29	0,11	0,83	1,82	0,13	1,00
Bicarbonatos (Meq L ⁻¹)	10,13	0,91	4,35	8,58	0,80	4,40

4.1.3. Producción bajo Invernáculo

En la zafra 2021/22, de los siete productores que realizaron producción bajo invernáculo, se seleccionaron diez cultivos, abarcando un área total de 4710 m². En la zafra 2022/23, se seleccionaron también diez cultivos, sumando en total una superficie de 4360 m² (Tabla 9).

Tabla 9*Cantidad de productores, cultivos y superficie en cultivos en invernáculo según zafra*

Departamento	2021- 2022			2022- 2023		
	Productores	Cultivos	Sup. (m ²)	Productores	Cultivos	Sup. (m ²)
Canelones	5	8	3550	4	5	2595
Maldonado	2	2	1150	2	5	1675
San José	0	0	0	0	0	0
Total	7	10		6	10	

Nota. Sup.: superficie.

4.1.3.1. Características generales de los invernáculos

Para la mayoría de los invernáculos utilizados en la zafra 2022/22, el material de construcción fue madera, salvo dos productores que utilizaron invernáculos de metal. Todos los invernáculos tenían orientación este-oeste, excepto dos que estaban orientados de norte a sur. En cuanto al nylon, los espesores variaron de 120 a 150 micrones, y todos los productores reemplazaron el nylon al comenzar la zafra; el nylon más viejo tenía solo 3 meses al momento de trasplantar el cultivo. Tres productores utilizaron malla sombra en el invernáculo, con porcentajes de sombra de 80% y 50%. Para la ventilación, todos los productores, salvo uno, contaban con ventilación cenital de 0,4 y 0,5 m, y tres utilizaron ventiladores.

En la zafra 2022/23, en el 50 % de los invernáculos el material de la estructura era de madera y en los otros de metal. La orientación predominante fue norte-sur, con solo dos invernáculos orientados este-oeste. En cuanto al nylon, tres invernáculos renovaron el nylon al comenzar la zafra, mientras que en cinco invernáculos el nylon ya tenía un año de uso. Todos los invernáculos utilizaban nylon de 150 micrones. Ningún productor utilizó malla sombra en el invernáculo. Solo tres invernáculos contaban con ventilación cenital de 0,3 y 0,4 m, y cuatro contaban con ventiladores.

En la Tabla 10 se puede observar los valores de transmisividad de radiación solar de la estructura, expresados como porcentaje de la radiación solar total. En la zafra 2021/22, los valores estuvieron entre 62,2% y 39,4%, con un promedio de 58,6%, según datos de cinco invernáculos. Para el periodo 2022/23, se registró un máximo de 42,2%,

un mínimo de 27,8% y un promedio de 34,9%. Estos resultados son esperables, ya que el nylon utilizado en la primera zafra era nuevo y en la siguiente tenía un año de antigüedad, generando una diferencia promedio entre los valores de ambas zafra de 18,1%

Tabla 10

Valores de Transmisividad (%) del invernáculo según zafra

	2021- 2022	2022- 2023
Máximo	62,2	42,2
Mínimo	39,4	27,8
Promedio	58,6	34,9

4.1.3.2. Fechas de siembra y trasplante, densidad de plantación y variedades

En la producción bajo invernáculo, se observa el mismo patrón en las fechas de siembra y trasplante que en la producción a campo. Hay un retraso en los inicios de siembra y trasplante durante la segunda zafra en comparación con la primera. En cuanto a los periodos, en la zafra 2021/22, el periodo de siembra tuvo una duración de 90 días, y el de trasplante, 50 días. Para la zafra 2022/23, tanto el periodo de siembra como el de trasplante fue de 70 días (Tabla 11).

Tabla 11

Fechas de siembra y trasplante en cultivos bajo invernáculo

Zafa	Inicio de siembra	Fin de siembra	Inicio de trasplante	fin de trasplante
2021-2022	15/9	20/ 12	20/11	10/1
2022-2023	25/10	5/ 1	30/11	2/2

Con respecto a las densidades de plantación, como se observa en la Tabla 12, en la segunda zafra se utilizaron densidades mayores en comparación con la primera, siendo en promedio más del doble en la segunda.

Tabla 12

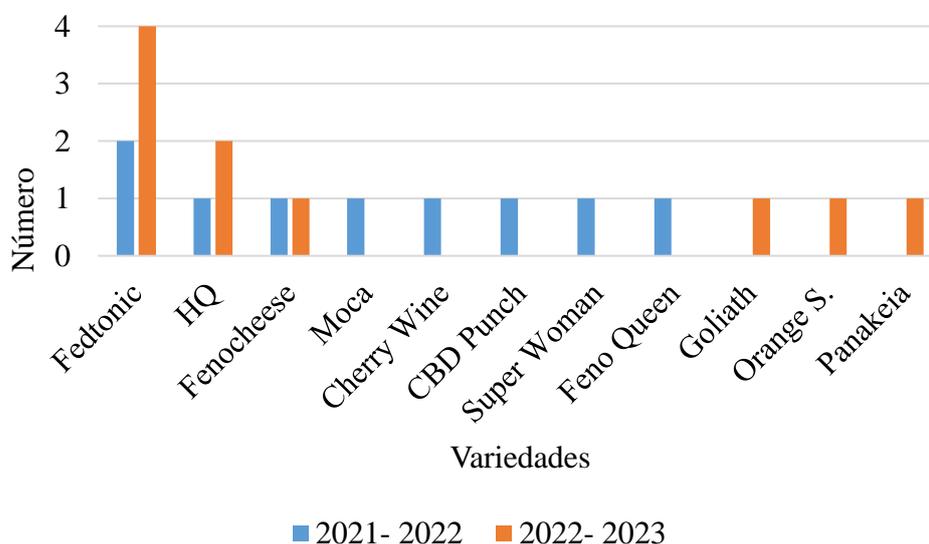
Densidades de siembra máximas, mínimas y promedio en invernáculo según zafra

Zafra	Densidad de plantación (plantas m ⁻²)		
	máxima	mínima	promedio
2021- 2022	4,7	0,4	1,7
2022- 2023	8	0,4	3,5

En cuanto a las variedades cultivadas, se puede observar en la Figura 12 que la tendencia es similar a la observada en la producción a campo. La variedad más utilizada en ambas zafras fue Fedtonic, con dos cultivos en la zafra 2021/22 y cuatro cultivos en la zafra 2022/23. Es notable que se utilizan pocas variedades en ambas zafras, destacándose únicamente dos: HQ y Fenocheese.

Figura 12

Variedades utilizadas en invernáculo según zafra



4.1.3.3. Manejo de podas y raleos

En el periodo 2021/22, las podas apicales se realizaron en siete de los nueve cultivos analizados, entre el 12 de noviembre y el 26 de diciembre. Las podas basales se efectuaron en seis cultivos, desde el 13 de diciembre hasta el 18 de marzo. Durante la zafra 2022/23, las podas apicales se registraron únicamente en dos cultivos, entre el 9 de

diciembre y el 1 de febrero. Las podas basales se llevaron a cabo entre el 20 de enero y el 18 de febrero. La práctica de deshoje se realizó durante las podas basales en ambas zafra, eliminando las hojas desde el nivel del suelo hasta aproximadamente 15 cm de altura.

En cuanto al raleo de plantas fuera de tipo (machos o hermafroditas), en la zafra 2021/22 se realizó entre febrero y marzo. Solo un productor reportó la presencia de plantas hermafroditas, correspondiente al 2% de las plantas, encontradas entre el 4 y el 12 de marzo, cuya genética correspondía a Harley Queen (HQ x HQ). No se registraron actividades de raleo para la zafra 2022/23

4.1.3.4. Sistematización

En la zafra 2021/22, solo dos cultivos presentaron riesgos de anegamiento, ya que los invernáculos se construyeron sobre un "bajo" próximo a una cañada. En el resto de los cultivos no se encontraron riesgos, ya que fueron instalados sobre macetas o la altura del camellón fue suficiente para evitar el anegamiento. Además, los invernáculos se construyeron en superficies elevadas. Un productor optó por instalar el cultivo en macetas de 30 litros.

En el periodo 2022/23, ningún cultivo estuvo en riesgo de anegamiento, ya que todos los invernáculos se instalaron en superficies elevadas y la altura de los camellones oscilaba entre 20 y 30 cm.

4.1.3.5. Análisis químico del suelo

En la zafra 2021/22, con respecto al MOS %, hay ocho registros de los diez cultivos analizados, presentando un máximo de 3,4 %, un mínimo de 1,5 % y un promedio de 2,2 %. En la zafra 2022/23, se obtuvieron nueve registros, con un máximo de 13,9 %, un mínimo de 1,6 % y un promedio de 4,0 % (Tabla 13).

En cuanto al potasio intercambiable (K, meq/100g), en la zafra 2021/22 se registró un máximo de 1,71, un mínimo de 0,60 y un promedio de 1,02. En la zafra 2022/23, los valores fueron un máximo de 3,82, un mínimo de 0,63 y un promedio de 1,46 (Tabla 13).

Respecto al calcio intercambiable (Ca, meq/100g), en la zafra 2021/22 se registraron un máximo de 12,1, un mínimo de 5,8 y un promedio de 8,9. En la zafra 2022/23, los valores fueron un máximo de 19,5, un mínimo de 5,2 y un promedio de 11,2 (Tabla 13).

Para el fósforo Bray (P, ppm), se registraron máximos superiores a 100 en ambas zafras, con mínimos de 12,3 y 17, y promedios de 38,8 y 30,6 para las zafras 2021/22 y 2022/23, respectivamente (Tabla 13).

Tabla 13

Máximos, mínimos y promedio de las distintas variables de análisis de suelo según zafra

	2021- 2022			2022- 2023		
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
MOS (%)	3,44	1,47	2,2	13,94	1,56	3,95
K int. (meq/ 100g)	1,71	0,6	1,02	3,82	0,63	1,46
Ca int. (meq/ 100g)	12,1	5,9	8,9	19,5	5,2	11,2
P bray (ppm)	>100	12,3	38,8	>100	17	30,6

Nota. int.: intercambiable.

En referencia al pH, los valores registrados estuvieron entre 6,9 y 5,7, con un promedio de 6,2 para el periodo 2021/22. Para la zafra 2022/23, los valores registrados se situaron entre 7,4 y 5,5, con un promedio de 6,2 (Tabla 14).

En cuanto a la acidez titulable (meq/100 g), los valores estuvieron entre 5,4 y 1,2, con un promedio de 2,2 para la primera zafra analizada. En la zafra 2022/23, los valores registrados estuvieron entre 7 y 0, con un promedio de 2,8 (Tabla 14).

Para los valores de saturación de bases (%), los registros de la zafra 2021/22 estuvieron entre 92,8 y 71,3, con un promedio de 87,1. Para el segundo periodo analizado, los valores estuvieron entre 100 y 71,3, con un promedio de 84,9 (Tabla 14).

Tabla 14*Máximos, mínimos y promedio de distintas variables de análisis de suelo*

	2021- 2022			2022- 2023		
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
pH	6,9	5,7	6,2	7,4	5,5	6,2
Acidez titulable (meq/ 100g)	5,4	1,2	2,2	7	0	2,8
Saturación en bases (%)	92,8	71,3	87,1	100	71,3	84,9

4.1.3.6. Manejo de la fertilización

Para la zafra 2021/22, se dispone de ocho registros con respecto al manejo de la fertilización. La mayoría de los productores utilizaron enmiendas orgánicas como fertilización base. Seis utilizaron cama de pollo, uno abono de feedlot y otro compost. Hay seis registros de fertirriego, y las fuentes varían entre triple 16, triple 18 y 10-15-10.

En la zafra 2022/23, se dispone de cinco registros en cuanto al aporte de enmiendas orgánicas. Estas fueron utilizadas por cinco productores, de los cuales tres utilizaron cama de pollo y dos compost. En cuanto al fertirriego, hay solamente tres registros, donde las fuentes variaron a lo largo del ciclo entre triple 16, triple 18 y 10-15-10.

4.1.3.7. Recursos Hídricos

Las fuentes de agua varían de igual manera que en la producción a campo, incluyendo pozos excavados, pozos semi surgentes, tajamares y arroyos, todos con buena disponibilidad. La mayoría de los productores utilizaron pozos semi surgentes y tajamares. Todos emplearon riego por goteo, utilizando cintas quienes habían instalado el cultivo sobre tierra directa y estacas quienes utilizaron macetas.

En la zafra 2021/22, la mayoría de los productores utilizaron dos cintas por cantero, mientras que el resto usó solo una. En el periodo 2022/23, la mayoría utilizó una cinta por cantero.

La distancia entre los goteros varió entre 0,25 y 0,7 metros, y los caudales entre 1 y 5 litros por hora en ambas zafras.

En cuanto a los análisis de agua, estos se realizaron en cuatro de los siete predios en ambas zafras. En el periodo 2021/22, el pH estuvo entre 7,4 y 6,2, con un promedio de 7. La conductividad varió entre 1,06 y 0,11, con un promedio de 0,59, y los bicarbonatos oscilaron entre 8,1 y 0,9, con un promedio de 4,3 (Tabla 15).

En la zafra 2022/23, los valores de pH estuvieron entre 7.1 y 5.5, con un promedio de 6,4. La conductividad varió entre 1,02 y 0,10, con un promedio de 0,60. En cuanto a los bicarbonatos, los valores oscilaron entre 6,3 y 0,8, con un promedio de 2,9 (Tabla 15).

Tabla 15

Máximos, mínimos y promedio de algunas variables de análisis de agua según zafra

	2021- 2022			2022- 2023		
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
pH	7,4	6,2	7	7,1	5,5	6,4
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	1,06	0,11	0,59	1,02	0,10	0,60
Bicarbonatos (meq L ⁻¹)	8,1	0,9	4,3	6,3	0,8	2,9

4.2. POSTCOSECHA

En lo que respecta al secado y acondicionado de la flor, los productores pueden realizar estas actividades en el predio o tercerizar el servicio. Cuando se lleva a cabo dentro del predio, la planta es cosechada y trasladada a un espacio acondicionado como secadero. Estos secaderos suelen ser contenedores o galpones equipados con ventiladores, aire acondicionado y deshumidificadores. Generalmente, los productores cuelgan las ramas, que pueden tener las flores ya trimiadas o no, y una vez que las flores alcanzan una humedad adecuada (alrededor del 15%), se separan de las ramas. Algunos productores prefieren cosechar la planta y separar inmediatamente las flores de las ramas para acelerar el proceso de secado. Cuando los productores optan por tercerizar el

servicio, las empresas que lo ofrecen suelen exigir que las ramas no superen los 30 cm de longitud, con deshojado previo y, a veces, desramado.

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

5. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE CÁÑAMO EN CAMPO E INVERNÁCULO EN URUGUAY

5.1. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA

En la Tabla 16 se presentan los resultados de algunas variables agroclimáticas para los departamentos de Canelones y Maldonado en ambas zafras, durante los periodos comprendidos entre noviembre 2021 - abril 2022 y noviembre 2022 - abril 2023, respectivamente. Las precipitaciones (mm) se reportan como valor acumulado durante toda la zafra, mientras que la humedad relativa (%), temperatura (°C) y radiación ($\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) se presentan como valores promedio de la zafra.

Al comparar las mismas variables entre las dos zafras, se observa una diferencia significativa en las precipitaciones, siendo mayores en la primera zafra para ambos departamentos. Lo mismo ocurrió con la humedad relativa. En cuanto a la temperatura, las diferencias fueron mínimas entre una zafra y la siguiente (Tabla 16).

Cuando se compara entre los departamentos, para la zafra 2021/22, Maldonado registró el mayor valor de precipitaciones y humedad relativa, con una diferencia de 439,9 mm y 4,6%, respectivamente. La temperatura promedio fue ligeramente mayor en Canelones, con una diferencia de 0,7°C (Tabla 16).

En la zafra 2022/23, se observa una tendencia similar en las precipitaciones, humedad relativa y temperatura. Las precipitaciones y la humedad relativa fueron mayores en Maldonado, con diferencias de 49 mm y 6,2%, respectivamente. En cuanto a la temperatura, la diferencia entre los departamentos fue más notable, alcanzando 1,2°C (Tabla 16).

Tabla 16

Datos promedios de radiación, precipitaciones, temperatura y humedad relativa según zafra y departamento

		Radiación solar por Heliofanía (cal/ cm ² / día)	Precipitación total (mm)	Temperatura media (°C)	Humedad relativa Media (%)
Zafra 2021-2022	Canelones	509,8	314,7	21	72,7
	Maldonado	sd	754,6	20,3	76,2
Zafra 2022-2023	Canelones	502,7	280,7	22,1	67,2
	Maldonado	sd	329,7	20,9	73,4

Nota. sd: sin dato. Fuente: Adaptado de INIA- Las Brujas y INUMET- Laguna del Sauce.

5.2. CARACTERIZACIÓN DEL RENDIMIENTO COMERCIAL

En la Tabla 17 se presentan los rendimientos máximos, mínimos y medios de flores secas (con una humedad del 15%) para la producción a campo e invernáculo correspondientes a las zafras 2021/22 y 2022/23.

En producción a campo, el mayor rendimiento se registró en Maldonado durante la zafra 2022/23, alcanzando 1694 kg ha⁻¹, mientras que el menor rendimiento se observó en Canelones, con 200 kg ha⁻¹ en la zafra 2021/22. Además, se destaca que el rendimiento medio en Canelones apenas varió de una zafra a la siguiente, mientras que en Maldonado aumentó de 862 a 1127 kg ha⁻¹ de la primera a la segunda zafra (Tabla 17).

En cuanto a la producción en invernáculo, el máximo rendimiento registrado fue en Canelones durante la zafra 2022/23, con 2124 g m⁻². El mínimo también se registró en Canelones, pero durante la zafra 2021/22, con 604 g m⁻². Respecto a los rendimientos medios, en Canelones aumentaron de 162 a 365 g m⁻² de una zafra a la siguiente, mientras que en Maldonado disminuyeron de 270 g m⁻² en la primera zafra a 157 g m⁻² en la siguiente (Tabla 17).

Tabla 17*Rendimientos máximos, mínimos y medios para ambas zafras según departamento*

		Zafra 2021- 2022			Zafra 2022- 2023		
		Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio
Campo (kg ha ⁻¹)	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	477	270	108	246	157

5.2.1. Relación entre el rendimiento obtenido, variables determinantes, limitantes del rendimiento de cultivos a campo

En las Tablas 18, 19, 20 y 21 se presentan las correlaciones de Spearman entre el rendimiento obtenido por superficie en los cultivos y algunas variables determinantes y limitantes del rendimiento, así como algunos componentes del rendimiento.

Las variables determinantes que mostraron correlación positiva y significativa con el rendimiento a campo fueron el rendimiento por planta (g planta⁻¹), la densidad de plantación (plantas ha⁻¹) y el porcentaje de PAR interceptado (%) al inicio de la cosecha. El rendimiento por planta fue la variable con la correlación más alta, seguida por la densidad de plantación y el PAR interceptado. No se encontró una correlación significativa con la duración del ciclo (Tabla 18).

Entre las variables limitantes, la concentración de fósforo en hoja (g kg⁻¹ MS) mostró una correlación positiva significativa con el rendimiento en kilogramos por hectárea, mientras que el RAS del agua de riego mostró una correlación negativa. La concentración de nitrógeno en hoja (% N) no mostró una correlación significativa con el rendimiento (Tabla 18).

Al analizar el porcentaje de PAR interceptado al inicio de la cosecha con las variables determinantes y limitantes del rendimiento, se encontró correlación positiva y significativa con el porcentaje de nitrógeno en hoja, la densidad de plantación, la concentración de fósforo en hoja, el % MOS y el contenido de potasio en savia. Por otro lado, la duración del ciclo y el contenido de sodio en savia (Na en ppm) mostraron una correlación negativa con el porcentaje de PAR interceptado (Tabla 19).

Tabla 18

Correlaciones entre el rendimiento por superficie, las variables determinantes y limitantes en cultivos a campo

	Variable	n	Coefficiente de correlación de Spearman	p-valor
Determinantes	Rendimiento por planta (g planta ⁻¹)	37	0,72	<0.0001
	PAR interceptado a inicio de cosecha (%)	36	0,4	0,0146
	Densidad de plantas (plantas ha ⁻¹)	37	0,51	0,0014
	Largo de ciclo (días)	32	-0,23	ns
Limitantes	N en hoja (%)	33	0,28	ns
	P en hoja (g kg MS ⁻¹)	33	0,39	0,024
	RAS del agua	19	-0,47	0,04

Nota. ns: no significancia.

Tabla 19

Relación entre el % de PAR interceptado y otras variables medidas en cultivos a campo

Variable	n	Coefficiente de correlación de Spearman	p- valor
Densidad de pl	37	0,43	0,0073
Largo de ciclo	31	-0,42	0,0191
% MOS	33	0,35	0,0462
K savia (ppm)	34	0,33	0,058
Na savia (ppm)	30	-0,53	0,0029
% N en hoja	32	0,45	0,0095
P en hoja (g/kg)	32	0,41	0,0188

Al analizar las relaciones entre el porcentaje de materia orgánica del suelo y otras variables nutricionales, se observa que el % MOS mostró la mayor correlación positiva con el contenido de potasio en savia, seguido de una correlación negativa con el contenido de sodio en savia y una correlación positiva con el porcentaje de nitrógeno en hoja.

También es notable que los cultivos plantados en suelos con mayores niveles de materia orgánica presentaron menores niveles de sodio en savia (Anexos).

Cuando se analizó la relación entre el % MOS y el RAS, no se encontró una correlación significativa entre ambas variables. Esto sugiere que no se puede afirmar que los cultivos con mayor % MOS tengan necesariamente una mejor calidad de agua (Tabla 20).

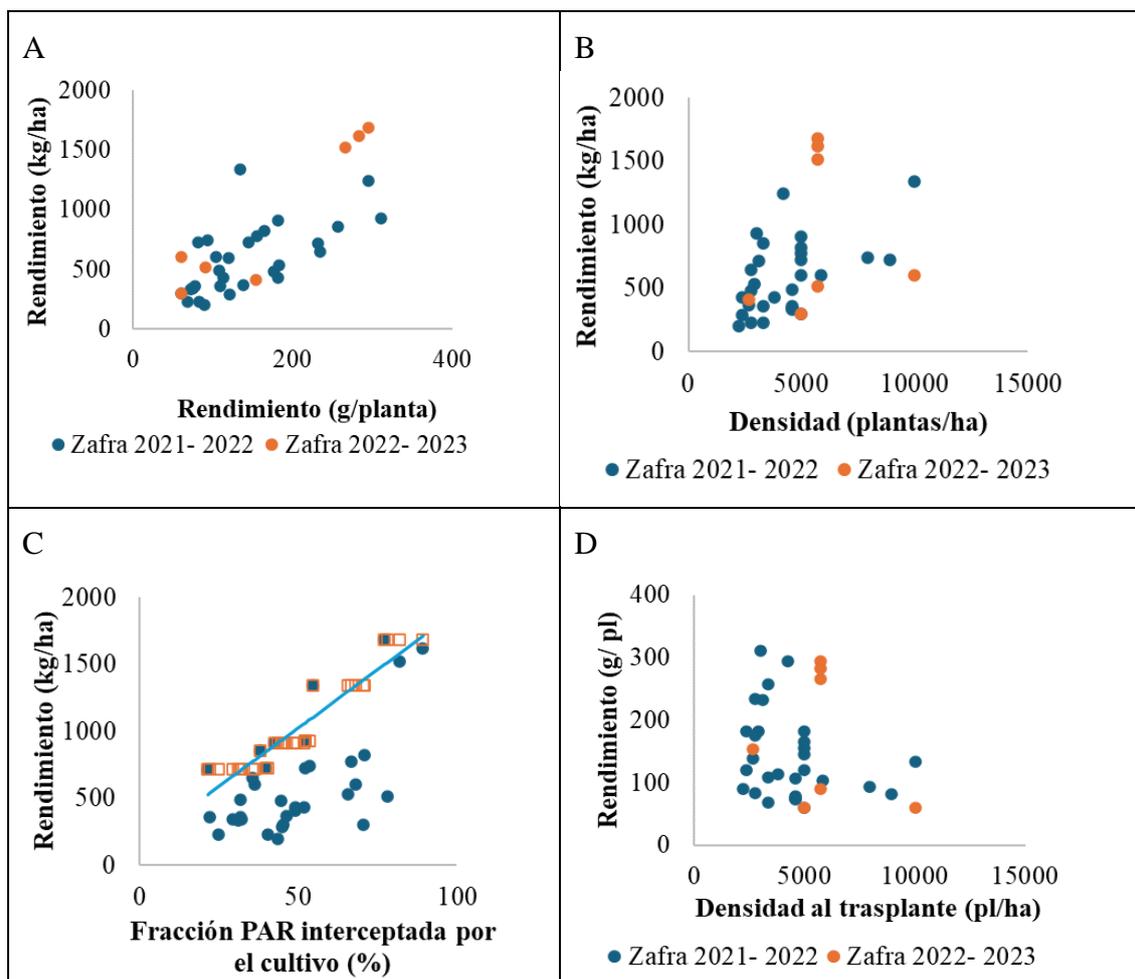
Tabla 20

Relaciones entre el porcentaje de MOS y algunas variables limitantes del rendimiento

Variable	n	Coefficiente de correlación de Spearman	p-valor
K savia (ppm)	30	0,44	0,0146
Na savia (ppm)	26	-0,41	0,0389
% N en hoja	30	0,3	0,1048
RAS	19	-0,19	ns

Nota. ns: no significancia.

Los principales factores que explicaron la variabilidad en el rendimiento obtenido (utilizando el criterio de Correlación de Spearman) entre cultivos a campo fueron el rendimiento individual por planta y la densidad de plantas por superficie (Figura 13a y 13b). No se observó una relación clara entre la densidad de plantas y el rendimiento por planta. Al menos hasta una densidad de 6000 plantas por hectárea, la densidad no afectó el rendimiento por planta (Figura 13d).

Figura 13*Factores determinantes del Rendimiento*

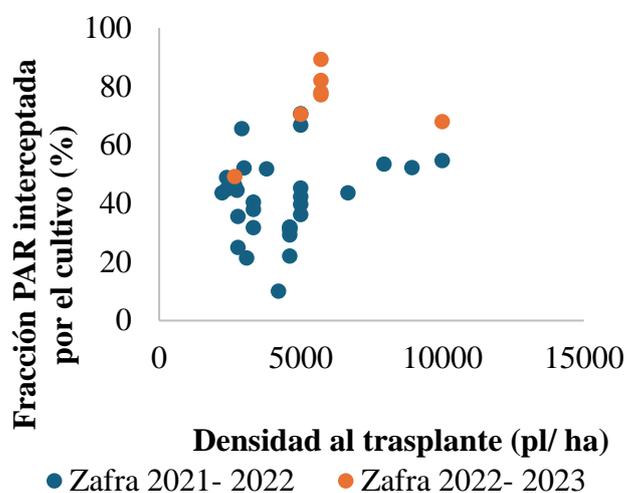
Nota. Rendimiento por superficie obtenido (kg/ha) según rendimiento por planta (a), densidad de plantación (b), radiación interceptada por el cultivo a inicio de cosecha (c) y rendimiento por planta según densidad de plantación (d).

A mayor fracción de PAR interceptada por el cultivo al inicio de la 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, el cual no se puede superar si no se intercepta una mayor fracción de PAR (Figura 13c). Si bien la relación es clara, el rendimiento depende de otros factores, lo que determina que para el mismo nivel de fracción de PAR interceptado se observe una gran variabilidad de rendimientos.

La fracción de PAR interceptada al inicio de la cosecha por el cultivo se correlacionó positivamente con la densidad de plantación (coeficiente de correlación de Spearman 0,43) (Figura 14).

Figura 14

Fracción de PAR interceptada a inicio de cosecha y densidad al trasplante

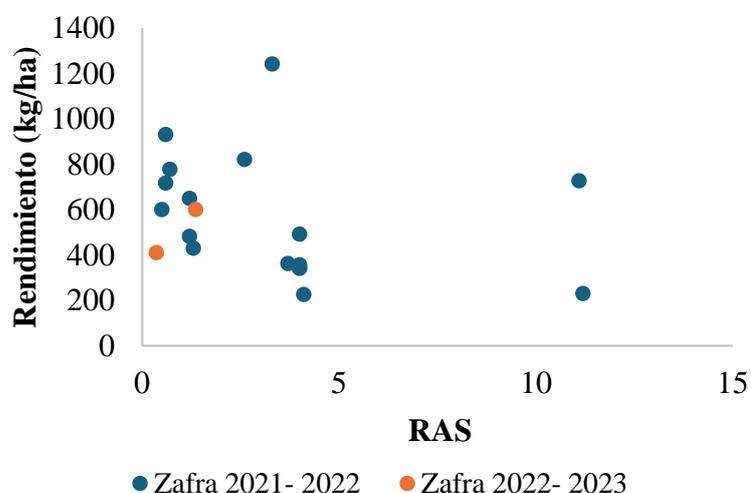


En la Figura 15 se grafica la relación entre el rendimiento obtenido y el RAS del agua de riego. Se observa que, a mayor RAS en el agua de riego, menores son los rendimientos obtenidos, lo que indica una alta sensibilidad del cultivo a la calidad del agua usada para riego.

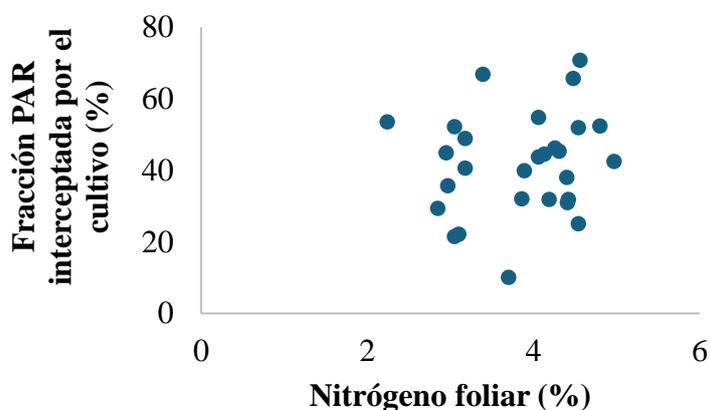
El contenido de nitrógeno foliar tuvo una correlación positiva con la fracción de PAR interceptada por el cultivo (coeficiente de correlación de Spearman 0,43) (Figura 16). Los contenidos de nitrógeno foliar al inicio de la cosecha estuvieron entre 2,24 % y 4,97 %.

Figura 15

Relación entre el rendimiento obtenido y RAS del agua de riego

**Figura 16**

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



5.2.2. Relación entre el rendimiento obtenido, variables determinantes, limitantes del rendimiento de cultivos bajo invernáculo

En las Tablas 21 y 22 se muestran las correlaciones de Spearman entre distintas variables de la producción bajo invernáculo. Como se puede observar, la significancia estadística de estas correlaciones es considerablemente menor en comparación con las de campo. Una de las posibles causas podría ser el menor número de muestras (n), siendo en algunos casos menos de la mitad.

Al analizar las variables determinantes y limitantes que mostraron mayor correlación con el rendimiento (g m^{-2}), se observó que las variables determinantes destacadas fueron la densidad (plantas m^{-2}) y el % de PAR interceptado (al inicio de la cosecha), ambas con correlaciones positivas. El largo del ciclo (días) no mostró significancia. En cuanto a las variables limitantes, el % de nitrógeno en hoja y el contenido de potasio en savia (ppm) mostraron correlaciones positivas. No se encontró correlación con el resto de las variables (Tabla 21).

Tabla 21

Correlaciones de variables determinantes y limitantes del Rendimiento para ambas zafras 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
	PAR interceptado a inicio de cosecha (%)	15	0,47	0,0777
	Largo de ciclo (días)	16	-0,25	ns
Limitantes	N en hoja (%)	12	0,59	0,0487
	K savia (ppm)	16	0,49	0,0548
	P en hoja (g kg MS^{-1})	12	0,41	ns
	Ca savia (ppm)	16	0,32	ns
	Transmisividad (%)	14	-0,25	ns
	K en hoja (g kgMS^{-1})	12	0,14	ns
	Na savia (ppm)	9	-0,48	ns
	MOS (%)	16	-0,22	ns
	RAS	12	-0,06	ns

Nota. ns: no significancia.

En la Tabla 22 se pueden observar las correlaciones entre el porcentaje de PAR interceptado al inicio de la cosecha y otras variables determinantes y limitantes del rendimiento. Se encontraron correlaciones positivas con el porcentaje de nitrógeno en

hoja y el contenido de potasio en savia (ppm). El resto de las variables no mostró correlación significativa con el PAR interceptado.

Tabla 22

Relación entre el % PAR interceptado y otras variables medidas

Variable	n	Coefficiente de correlación de Spearman	p- valor
N en hoja (%)	10	0,73	0,0278
K savia (ppm)	13	0,69	0,0086
Ca savia (ppm)	13	0,39	ns
Densidad de plantas (plantas m ²)	15	0,33	ns
P en hoja (g kg MS ⁻¹)	10	0,15	ns
RAS	9	0,28	ns
Transmisividad (%)	13	-0,61	0,0276
Na savia (ppm)	9	-0,38	ns
Largo de ciclo (días)	13	-0,34	ns
K en hoja (g kg MS ⁻¹)	10	-0,27	ns
MOS (%)	12	-0,1	ns

Nota. ns: no significancia.

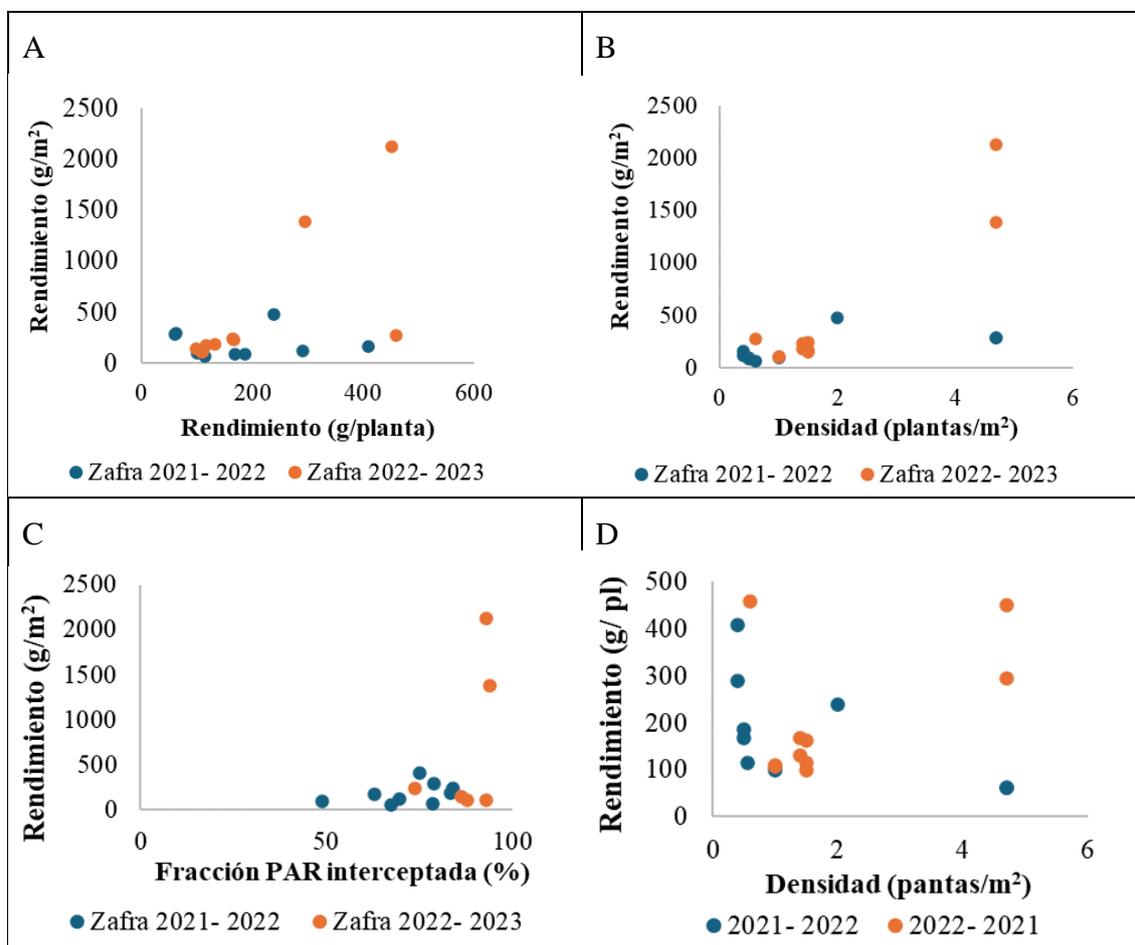
En cuanto a las variables reductoras del rendimiento real no se observaron problemas mayores de malezas en los cultivos. La mayoría de los productores utilizó mulch, y algunos pocos emplearon fardos en sustitución del mulch. Además, durante el transcurso del cultivo, los productores controlaron las malezas de forma manual (con azada) y/o mecánica (con desmalezadora o rotativa). Solo se encontró un cultivo con problemas de malezas. A campo, solo dos productores decidieron utilizar herbicidas en la primera zafra.

Al igual que en los cultivos de campo, las variables determinantes del rendimiento que explican la variabilidad de los rendimientos obtenidos son el rendimiento por planta,

la densidad de plantación y la radiación interceptada al inicio de la cosecha. Los rendimientos más altos se obtuvieron con 4,7 plantas m^{-2} (Figura 17).

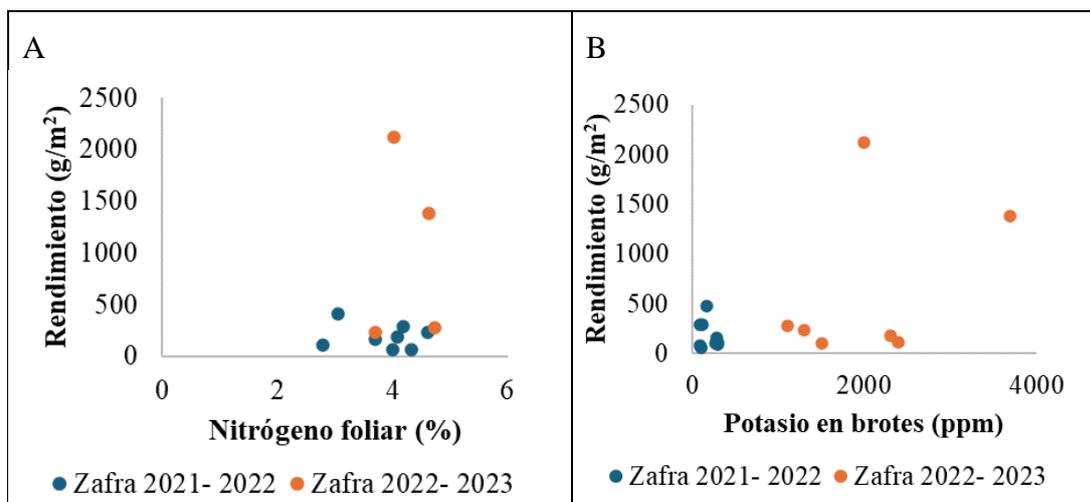
Figura 17

Factores determinantes del rendimiento



Nota. 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).

Entre los factores limitantes del rendimiento, el contenido de nitrógeno foliar y la concentración de potasio medida en los brotes al inicio de la cosecha explicaron en mayor medida la variabilidad de los rendimientos observados. Mayores rendimientos por superficie se obtuvieron con un mayor contenido de nitrógeno y potasio (Figura 18).

Figura 18*Factores limitantes del rendimiento*

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

5.2.3. Factores reductores del rendimiento en cultivos a campo e invernáculo

En cuanto a las enfermedades y plagas en los cultivos evaluados, en la primera zafra, la mayor presencia fue la de *Diabrotica speciosa*, presente en 41 cultivos, de los cuales en 7 su ataque fue generalizado. Le siguieron las hormigas en 11 cultivos, trips en 9, arañuelas en 8 y lagarta en 5 cultivos, aunque todos con baja incidencia. Las enfermedades registradas fueron *Botrytis cinérea*, *Sclerotium rolfsii* todas con baja incidencia y en pocos cultivos. En la zafra 2022/23, las enfermedades y plagas registradas fueron *Botrytis cinerea*, *Diabrotica speciosa*, trips y lagarta, pero todas con baja incidencia (Anexos).

6. DISCUSIÓN

Durante el desarrollo de este trabajo, se presentaron diversas dificultades metodológicas que afectaron la consistencia de los datos recolectados. Una de las principales limitantes fue la fuerte variación en la muestra entre las dos zafra estudiadas, lo cual dificultó la comparación de resultados. Asimismo, existió una disparidad en las evaluaciones realizadas, ya que no todas las variables pudieron ser evaluadas en cada uno de los cultivos, lo que resultó en tamaños de muestra (N) muy distintos entre variables, limitando el análisis comparativo y estadístico. Adicionalmente, algunas de las mediciones dependieron de los registros de los productores, lo que introdujo variaciones en la precisión de los datos debido a diferentes técnicas y grados de experiencia en el registro de información.

6.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SECTOR

La principal diferencia entre ambas zafra radica en el número de productores participantes, con una disminución del 55% en la zafra 2022-2023. Es razonable que este descenso esté acompañado de una reducción en las áreas cultivadas, con una caída del 81% (Tabla 1).

Algunos aspectos destacables dentro de los distintos departamentos incluyen la falta de participación de los productores de San José en la zafra 2022/23. Además, aunque el número de productores en Maldonado se mantuvo, la superficie cultivada a campo disminuyó en un 65% (Figura 19), mientras que la superficie bajo invernáculo aumentó en un 31% (Figura 20). Es importante destacar la notable disminución en el departamento de Canelones, especialmente en la producción a campo, con una caída del 91%, y del 51% en la producción bajo invernáculo.

Entre la primera y segunda zafra, se produjo una caída significativa en la superficie y el número de empresas vinculadas al sector. Esta situación se debe a problemas en la comercialización y a una reducción notable en los precios de venta. Aunque esta tendencia ya se observaba anteriormente, alcanzó su punto crítico en la zafra 2021/22. Además, se registró una alta proporción de descartes por no alcanzar la calidad exigida por los mercados, lo que redujo tanto el valor del producto como los porcentajes comerciales. Desde 2018 hasta 2022, la exportación se redujo en un 35%, principalmente debido a la caída significativa en los precios de venta (Uruguay XXI, 2023). Esta

situación también se refleja en la percepción de los empresarios, quienes consideran que la comercialización es el principal obstáculo para el desarrollo del sector.

Durante la zafra 2021/22 en Uruguay, la producción de flores no psicoactivas a campo incluyó tanto a empresas de pequeño porte (menos de 1 ha) como de gran porte (15 ha). Sin embargo, en la zafra siguiente, todas las empresas redujeron su tamaño significativamente, situándose todas por debajo de las 2 ha. Este ajuste se debe a la situación comercial que provocó retracción del sector en Uruguay. En cuanto a la producción en invernaderos, las áreas por empresas no superaron los 2000 m² en ninguna de las dos zafras, con la mayoría de las superficies de cultivo entre 501 y 1000 m².

En la zafra 2021/ 22, el 78% de las empresas contaba con experiencia previa, mientras que el 22% eran nuevas en el rubro. En la siguiente zafra, todas las empresas que permanecieron en el sector contaban con experiencia previa. Una característica notable de este sector es que la producción de cáñamo no era la principal fuente de ingreso para la mayoría de las empresas, con un 64% en la zafra 2021/22 y un 30% en la zafra 2022/22. Estas empresas suelen combinar la producción de cáñamo con otras actividades económicas diversas (otras profesiones, ganadería, agricultura, apicultura, turismo, etc).

En 2023, el sector del cannabis empleo a 900 personas de manera directa en 102 proyectos (Uruguay XXI, 2023). Este rubro tiene una alta demanda de mano de obra, lo cual se evidenció en este estudio, donde la mayoría de las empresas contaba con personal permanente contratado, además de contratar personal jornalero para tareas específicas como la cosecha y el acondicionando de las flores. Entre el 59% y el 50% de los predios (en las zafras 2021/22 y 2022/23, respectivamente) realizaron el secado de las flores en sus propias instalaciones, mientras que entre un 32% y un 38% contrato servicios especializados para el secado. Esto es relevante, ya que el 27% de los productores identificaron el secado y la postcosecha del producto como limitantes principales para el desarrollo del rubro, lo que puede deberse a condiciones inadecuadas para el secado, limitando así la obtención de productos que cumplen con los estándares de calidad exigidos por los mercados.

6.2. RENDIMIENTO

Este trabajo reveló una considerable variabilidad en los rendimientos de los predios en la zona sur del país, con valores que oscilan entre 200 y 1685 kg ha⁻¹ en cultivos a campo y entre 64 y 2124 g m⁻² en condiciones de invernadero. Esto sugiere un amplio

margen para mejorar los rendimientos en los predios. Los mayores rendimientos se obtuvieron en los cultivos con mayor densidad de plantación, lo que indica un mayor desarrollo del follaje por superficie antes de comenzar la cosecha. Las densidades de plantación menores a 6000 plantas ha^{-1} a campo y 2 plantas m^{-2} en invernadero presentaron rendimientos más bajos que las densidades mayores. Al igual que en otros cultivos hortícolas donde se ha aplicado esta metodología (como tomate, boniato y frutilla), la interceptación 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 la cosecha, lo 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 con la nutrición de la planta (niveles de potasio, nitrógeno y fósforo). En este sentido, un mayor contenido de nutrientes foliares y en savia, un mayor contenido de materia orgánica del suelo y una mayor densidad de plantación se asociaron con una mayor fracción PAR interceptada a inicio de la cosecha. La correlación fue negativa entre la fracción PAR interceptada y la duración del ciclo, una relación que requiere más investigación.

A pesar de la relevancia del PAR interceptado para explicar el rendimiento obtenido, se observó una significativa variabilidad en cada nivel de PAR interceptado, atribuible a otros factores limitantes del rendimiento. Se encontró una correlación negativa entre el RAS del agua de riego en los cultivos a campo y el rendimiento, lo cual indica una alta sensibilidad del cultivo al contenido elevado de sodio en comparación con el calcio y magnesio en el agua de riego. Esta relación también se manifestó en la correlación negativa entre el nivel de sodio medido en los brotes y la fracción de PAR interceptada. 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. Este indicador, junto con la conductividad eléctrica, señala el potencial de toxicidad por sodio y el riesgo de limitar la infiltración de agua en el suelo debido a la pérdida de estructura (Wilcox, 1955). Las plantas de cáñamo de variedades textiles muestran una tolerancia moderada a la salinidad con variabilidad significativa entre las distintas 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).

Se observó una relación negativa entre la duración de la fase vegetativa del cultivo y su rendimiento, aunque no fue significativa estadísticamente. Podría suponerse inicialmente que una fase vegetativa más prolongada permitiría al cultivo llegar a inicio de la floración con un índice de área foliar (IAF) más alto, lo cual resultaría en una mayor interceptación de radiación y, por consiguiente, un aumento en el rendimiento. Sin embargo, los resultados obtenidos estarían sugiriendo lo contrario. Esto coincide con Backer et al. (2019) quienes encontraron que aumentar la duración del periodo de floración aumenta el rendimiento por metro cuadrado y el nivel de cannabinoides por metro cuadrado. A su vez el período vegetativo se correlacionó negativamente con la duración del período de floración y con el rendimiento Vanhove et al. (2012) lo atribuyen a una mayor asimilación de foto asimilados dirigida al crecimiento del tallo y crecimiento de hojas en detrimento de las yemas reproductivas.

En ambas zafras, se observó una baja incidencia de enfermedades, y mayor observación de plagas. posiblemente atribuible al efeto del año, caracterizado por bajas precipitaciones y humedad relativa promedio. Además, este fenómeno podría relacionarse con la secuencia de cultivos. En la primera zafra, la mayoría de los campos e invernáculos no se habían utilizado previamente para la producción de cannabis. En la siguiente zafra, todos los campos e invernáculos habían sido utilizados el año anterior para este propósito, pero la mayoría, especialmente los campos, habían pasado por un período de puente verde.

7. CONCLUSIONES

A partir de los objetivos planteados, esta investigación permitió caracterizar los sistemas productivos de flores de cáñamo con alto contenido de CBD destinados a la exportación en el sur de Uruguay, identificando importantes diferencias entre las zafas 2021-2022 y 2022-2023 en cuanto a la cantidad de productores y superficie cultivada. Los resultados reflejan un sector en contracción, influenciado por problemas de comercialización y una caída en los precios de venta, lo que ha llevado a una disminución en el número de empresas y áreas productivas, con ajustes especialmente notables en las empresas de mayor tamaño.

Asimismo, el análisis de los factores que afectan el rendimiento en los cultivos reveló una considerable variabilidad en la productividad, tanto en condiciones de campo como de invernadero, lo cual evidencia un margen significativo para la optimización del rendimiento. Los factores que mayor influencia mostraron en la producción fueron la densidad de plantación y la interceptación de radiación (PAR) al inicio de la cosecha, asociados con una mayor densidad de plantas y mejores condiciones de nutrición en nitrógeno, potasio y fósforo. En este contexto, los cultivos de cáñamo mostraron una marcada sensibilidad a la salinidad en el agua de riego, con el RAS como un factor limitante.

Este estudio contribuye al conocimiento del cultivo de cáñamo en Uruguay, brindando una base para futuras investigaciones que puedan profundizar en estrategias de manejo agronómico y optimización de prácticas, con miras a mejorar el rendimiento y la calidad de producción en la región.

Este trabajo se centró en los factores que limitan el rendimiento para identificar estrategias que puedan mejorar la productividad de los cultivos a nivel de chacra. En este contexto, dada la crucial importancia de la calidad de las flores cosechadas y el considerable impacto del secado y la postcosecha en dicha calidad final, sería fundamental complementar este trabajo enfocándose en estos aspectos. De esta manera, se podrían identificar las áreas de mejora que optimicen el resultado global del cultivo.

Además, sería beneficioso llevar a cabo experimentos en parcelas bajo condiciones controladas, para determinar los niveles óptimos, críticos y excesivos de fertilización para diversos nutrientes, así como para evaluar las demandas hídricas específicas de cada cultivo. También sería importante investigar las densidades de

siembra que maximizan la eficiencia en el uso de recursos y permiten alcanzar el rendimiento potencial. Además, un área que aún no ha sido estudiada es el efecto de diferentes tipos de poda (apical, basal y sanitaria) en la calidad del producto y rendimiento final.

8. BIBLIOGRAFIA

- Aizpurua-Olaizola, O., Soydaner, U., Öztürk, E., Schibano, D., Simsir, Y., Navarro, P., Etxebarria, N., & Usobiaga, A. (2016). Evolution of the cannabinoid and terpene content during the growth of *Cannabis sativa* plants from different chemotypes. *Journal of Natural Products*, 79(2), 324–331.
<https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.5b00949>
- Alahakoon, U., Adamson, J., Grenkow, L., Soroka, J., Bonham-Smith, P., & Gruber, M. (2016). Field growth traits and insect-host plant interactions of two transgenic canola (*Brassica napus*) lines with elevated trichome numbers. *The Canadian Entomologist*, 148(5), 603–615. <https://doi.org/10.4039/tce.2016.9>
- Amaducci, S., Colauzzi, M., Bellocchi, G., & Venturi, G. (2008). Modelling post-emergent hemp phenology (*Cannabis sativa* L.): Theory and evaluation. *European Journal of Agronomy*, 28(2), 90–102.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.006>
- Andre, C. M., Hausman, J. F., & Guerriero, G. (2016). *Cannabis sativa*: The plant of the thousand and one molecules. *Frontiers in Plant Science*, 7, Artículo e19.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00019>
- Azcón-Bieto, J. A., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- 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, Artículo e495.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00495>
- Ballaré, C. L. (2014). Light regulation of plant defense. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 335–363. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040145>
- Bauer, R., Salo-Ahen, K., & Bauer, O. (2008). CB receptors Ligands of plant. *Current Medicinal Chemistry*, 8(3), 173–186.
<https://www.eurekaselect.com/article/27201>

- Benlloch, R., Berbel, A., Serrano-Mislata, A., & Madueño, F. (2007). Floral initiation and inflorescence architecture: A comparative view. *Annals of Botany*, *100*(3), 659–676. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm146>
- Bernstein, N., Gorelick, J., Zerahia, R., & Koch, S. (2019). Impact of N, P, K, and humic acid supplementation on the chemical profile of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, *10*, Artículo e736. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00736>
- Berrueta, C., Dogliotti, S., & Franco, J. (2012). Análisis y jerarquía de factores determinantes del rendimiento en tomate para procesamiento en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, *16*(2), 39–48. <https://doi.org/10.31285/AGRO.17.537>
- Caplan, D., Dixon, M., & Zheng, Y. (2017). Optimal rate of organic fertilizer during the flowering stage for cannabis grown in two coir-based substrates. *HortScience*, *52*(12), 1796–1803. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12401-17>
- Caplan, D., Dixon, M., & Zheng, Y. (2019). Increasing inflorescence dry weight and cannabinoid content in medical cannabis using controlled drought stress. *HortScience*, *54*(5), 964–969. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13510-18>
- Cas Dei, M., Casagni, E., Saccardo, A., Arnoldo, S., Joven, C., Scotti, S., Vieira de Manicor, E., Gambaro, V., & Roda, G. (2020). The Italian landscape of cannabis light preparation: Determination of cannabinoids by LC-UV. *Forensic Science International*, *307*, Artículo e101113. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.110113>
- Castel, R., Kusters, E., & Koes, R. (2010). Inflorescence development in petunia: Through the maze of botanical terminology. *Journal of Experimental Botany*, *61*(9), 2235–2246. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq061>
- Ceapoiu, N. (1958). *Cînepa: Studiu monografic [Hemp: Monographic study]*. Editura Academiei Republicii Populare Romîne.
- Cervantes, J. (2006). *Marijuana horticulture: The indoor/outdoor medical grower's bible*. Van Patten Publishing.
- Cervantes, J. (2007). *Marijuana horticulture: The indoor/outdoor medical grower's bible* (2nd ed.). El Jardín del Libro.

- Chandra, S., Lata, H., & ElSohly, M. A. (Eds.). (2017). *Cannabis sativa L.: Botany and biotechnology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54564-6>
- Chandra, S., Lata, H., ElSohly, M. A., & Khan, I. A. (2011). Photosynthetic response of *Cannabis sativa L.*: An important medicinal plant, to elevated levels of CO₂. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17(3), 291–295. <https://doi.org/10.1007/s12298-011-0066-6>
- Chandra, S., Lata, H., Khan, I. A., & ElSohly, M. A. (2008). Photosynthetic response of *Cannabis sativa L.* to variations in photosynthetic photon flux densities, temperature and CO₂ conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 14(4), 299–306. <https://doi.org/10.1007/s12298-008-0027-x>
- Cheng, X., Deng, G., Su, Y., Liu, J. J., Yang, Y., Du, G. H., Chen, Z. Y., & Liu, F. H. (2016). Protein mechanisms in response to NaCl-stress of salt-tolerant and salt-sensitive industrial hemp based on iTRAQ technology. *Industrial Crops and Products*, 83, 444–452. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.086>
- Clarke, R. C. (1999a). Botany of the genus *Cannabis*. En P. Ranalli (Ed.), *Advances in hemp research* (pp. 1–34). CRC. [https://books.google.com.uy/books?hl=es&lr=&id=6U1ZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Clarke,+R.+C.+\(1999\).+Botany+of+the+genus+Cannabis.+En+P.+Ranalli+\(Ed.\).+Advances+in+hemp+research+\(pp.+1%E2%80%9334\).+Food+Products+Press.&ots=XXbrTzoma_&sig=ouUf-ccGjxn5_a5mxItgCP5IIaU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.uy/books?hl=es&lr=&id=6U1ZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Clarke,+R.+C.+(1999).+Botany+of+the+genus+Cannabis.+En+P.+Ranalli+(Ed.).+Advances+in+hemp+research+(pp.+1%E2%80%9334).+Food+Products+Press.&ots=XXbrTzoma_&sig=ouUf-ccGjxn5_a5mxItgCP5IIaU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Clarke, R. C. (1999b). *Marijuana botany: An advanced study: The propagation and breeding of distinctive cannabis*. Ronin Publishing.
- Clarke, R. C., & Merlin, M. D. (2013). *Cannabis: Evolution and ethnobotany*. University of California Press.
- Dayanandan, P., & Kaufman, P. B. (1976). Trichomes of *Cannabis sativa L.* (Cannabaceae). *American Journal of Botany*, 63(6), 578–591. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1976.tb11846.x>
- De Meijer, E. P. M., & Keizer, L. C. P. (1994). Variation of *Cannabis* for phenotypic traits related to industrial hemp breeding. *Euphytica*, 78(1), 19–22.

Decreto n° 46/015: *Reglamento para la producción y manejo de cáñamo en Uruguay*.

(2015). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/46-2015>

Delmotte, S., Tiftonell, J., Mouret, J.-C., Hammond, R., & López-Ridaura, S. (2011).

On-farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate.

European Journal of Agronomy, 35(4), 223–236.

<https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.06.006>

Dogliotti, S., Scarlato, M., Berrueta, C., Barros, C., Rehmann, 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*. INIA.

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.

Agronomy for Sustainable Development, 28(2), 151–161.

<https://doi.org/10.1051/agro:2007031>

Drug Enforcement Administration. (1992). *Cannabis yields*. U. S. Department of Justice.

Duke, J. A. (1983). *Cannabis sativa L*. NewCROP.

http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Cannabis_sativa.html

Dutta Gupta, S. D., & Agarwal, A. (2017). Artificial lighting system for plant growth

and development: Chronological advancement, working principles, and comparative assessment. En S. D. Gupta (Ed.), *Light emitting diodes for agriculture* (pp. 1–25). Springer.

El-Alfy, A. T., Ivey, K., Robinson, K., Ahmed, S., Radwan, M., Slade, D., Khan, I.,

ElSohly, M. A., & Ross, S. (2010). Antidepressant-like effect of Δ^9 -tetrahydrocannabinol and other cannabinoids isolated from *Cannabis sativa L*. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 95(4), 434–442.

<https://doi.org/10.1016/j.pbb.2010.03.004>

- ElSohly, M. A., & Slade, D. (2005). Chemical components of marijuana: The complex mixture of natural cannabinoids. *Life Sciences*, 78(5), 539–548.
<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.09.011>
- Elzinga, S., Fishedick, J., Podkolinski, R., & Raber, J. C. (2015). Cannabinoids and terpenes as chemotaxonomic markers in Cannabis. *Natural Products Chemistry & Research*, 3(4), Artículo e181. <https://www.iomcworld.com/open-access/cannabinoids-and-terpenes-as-chemotaxonomic-markers-in-cannabis-2329-6836-1000181.pdf>
- Farag, S., & Kayser, O. (2015). Cultivation and breeding of *Cannabis sativa* L. for preparation of standardized extracts for medicinal purposes. En A. K. B. David & M. R. E. Rodriguez (Eds.), *Medicinal and aromatic plants of the world* (pp. 165–186). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9810-5_9
- Fassio, A., Rodríguez, J. M., & Ceretta, S. (2013). *Cáñamo (Cannabis sativa L.)*. INIA.
- Frank, M. (1988). *Marijuana grower's insider's guide*. Red Eye Press.
- Friedman, D., & Devinsky, O. (2015). Cannabinoids in the treatment of epilepsy. *The New England Journal of Medicine*, 373(11), 1048–1058.
<https://doi.org/10.1056/NEJMra1407304>
- Haberlandt, F. (1879). *Der allgemeine landwirtschaftliche Pflanzenbau*. Verlag von J. G. Cotta.
- Hammond, C. T., & Mahlberg, P. G. (1977). Morphogenesis of capitate glandular hairs of *Cannabis sativa* (Cannabaceae). *American Journal of Botany*, 64(8), 1023–1031. <https://doi.org/10.2307/2442258>
- Hazekamp, A., Tejkalová, K., & Papadimitriou, S. (2016). Cannabis: From cultivar to chemovar: II. A metabolomics approach to Cannabis classification. *Cannabis and Cannabinoid Research*, 1(1), 202–215.
<https://doi.org/10.1089/can.2016.0017>
- Hilderbrand, R. L. (2018). Hemp & cannabidiol: What is a medicine? *Missouri Medicine*, 115(4), 306–309.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6140266/>

- Hillig, K. W. (2005). Genetic evidence for speciation in *Cannabis* (Cannabaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52, 161–180.
<https://doi.org/10.1007/s10722-003-4452-y>
- Hudson, J. (1963). Humulones, lupulones, and other constituents of hops. En K. Paech & M. V. Tracey (Eds.), *Modern methods of plant analysis* (pp. 135–154). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-94878-7_8
- Iversen, L. L. (2000). *The science of marijuana*. Oxford University Press.
[https://www.google.com.uy/books/edition/The_Science_of_Marijuana/T1Xeir8wu8wC?hl=es&gbpv=1&dq=Iversen,+L.+L.+\(2000\).+The+science+of+marijuana.+Oxford+University+Press.&printsec=frontcover](https://www.google.com.uy/books/edition/The_Science_of_Marijuana/T1Xeir8wu8wC?hl=es&gbpv=1&dq=Iversen,+L.+L.+(2000).+The+science+of+marijuana.+Oxford+University+Press.&printsec=frontcover)
- Kalra, Y. (Ed.). (1997). *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC.
<https://doi.org/10.1201/9780367802233>
- Kannabia Seed Company. (2022). *Tipos de marihuana: Sativa, indica e híbrida*.
<https://latam.kannabia.com/blog/tipos-de-marihuana>
- Kimura, M., & Okamoto, K. (1970). Distribution of tetrahydrocannabinolic acid in fresh wild cannabis. *Experientia*, 26(7), 819–820.
<https://doi.org/10.1007/BF02114192>
- Lapinjoki, S. P., Elo, H. A., & Taipale, H. T. (1991). Development and structure of resin glands on tissues of *Betula pendula* Roth during growth. *New Phytologist*, 117(2), 219–223. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb04902.x>
- Leggett, T. (2006). *Examen de la situación mundial del cannabis*. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito.
https://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/bulletin/2006/Bulletin_on_Narcotics_2006_S.pdf
- Levin, D. A. (1973). The role of trichomes in plant defense. *Quarterly Review of Biology*, 48(1), 3–15. <https://doi.org/10.1086/407484>
- Ley nº 19.172: *Regulación y control del cannabis en Uruguay*. (2013). IMPO.
<http://www.impoc.com.uy/bases/leyes/19172-2013>

- Lisson, S. N., Mendham, N. J., & Carberry, P. S. (2000). Development of a hemp (*Cannabis sativa* L.) simulation model 2: The flowering response of two hemp cultivars to photoperiod. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40(3), 413–417. <https://doi.org/10.1071/EA99059>
- Livingston, S. J., Quilichini, T. D., Booth, J. K., Wong, D. C. J., Rensing, K. H., Laflamme-Yonkman, J., Castellarin, S. D., Bohlmann, J., Page, J. E., & Stout, J. C. (2020). Cannabis glandular trichomes alter morphology and metabolite content during flower maturation. *Plant Journal*, 101(1), 37–56. <https://doi.org/10.1111/tpj.14516>
- Lu, X., & Clarke, R. C. (1995). The cultivation and use of *hemp* (*Cannabis sativa* L.) in ancient China. *Journal of the International Hemp Association*, 4(2), 76–79.
- Lydon, J., Teramura, A. H., & Coffman, C. B. (1987). Effects of UV-B radiation on photosynthesis, growth, and cannabinoid production of two chemotypes of *Cannabis sativa*. *Photochemistry and Photobiology*, 46(2), 201–206. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1987.tb04757.x>
- Magagnini, G., Grassi, G., & Kotiranta, S. (2018). The effect of light spectrum on the morphology and cannabinoid content of *Cannabis sativa* L. *Medical Cannabis and Cannabinoids*, 1(1), 19–27. <https://doi.org/10.1159/000489030>
- Malcevskaja, M., Vikmane, M., & Stramkale, V. (2011). Changes of photosynthesis-related parameters and productivity of *Cannabis sativa* under different nitrogen supply. *Environmental and Experimental Biology*, 9, 61–69.
- Mandolino, G., & Ranalli, P. (1999). Advances in biotechnological approaches for hemp breeding and industry. En P. Ranalli (Ed.), *Advances in hemp research* (pp. 185–208). Haworth Press.
- Matthews, P. (1999). *Cannabis culture: A journey through disputed territory*. Bloomsbury.
- McPartland, J. M. (2018). Cannabis systematics at the levels of family, genus, and species. *Cannabis and Cannabinoid Research*, 3(1), 203–212. <https://doi.org/10.1089/can.2018.0039>
- McPartland, J. M., Clarke, R. C., & Watson, D. P. (Eds.). (2000). *Hemp diseases and pests: Management and biological control*. CABI Publishing.

- McPartland, J. M., & Russo, E. B. (2001). Cannabis and cannabis extracts: Greater than the sum of their parts? *Journal of Cannabis Therapeutics*, *1*(1), 103–132.
https://doi.org/10.1300/J175v01n03_08
- Mechoulam, R., Shani, A., Edery, H., & Grunfeld, Y. (1970). Chemical basis of hashish activity. *Science*, *169*(3946), 611–612.
<https://doi.org/10.1126/science.169.3945.611>
- Merfield, C. N. (1999). *Industrial hemp and its potential for New Zealand*. Lincoln University.
- Muntendam, R., Happyana, N., Erkelens, T., Bruining, F., & Kayser, O. (2012). Time-dependent metabolomics and transcriptome analysis of cannabinoid biosynthesis in *Cannabis sativa* var. Bedrobinol and Bediol grown under standardized conditions and genetic uniformity. *International Journal of Medical Plants Research*, *6*(1), 31–40.
- Oerke, E.-C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, *144*(1), 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Pacifico, D., Miselli, F., Carboni, A., Moschella, A., & Mandolino, G. (2008). Time course of cannabinoid accumulation and chemotype development during the growth of *Cannabis sativa* L. *Fitoterapia*, *160*, 231–240.
<https://doi.org/10.1007/s10681-007-9543-y>
- Park, S. J., Eshed, Y., & Lippman, Z. B. (2014). Meristem maturation and inflorescence architecture: Lessons from the Solanaceae. *Current Opinion in Plant Biology*, *17*, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2013.11.006>
- Pertwee, R. G. (Ed.). (2014). *Handbook of cannabis*. Oxford University Press.
- Pillemer, E. A., & Tingey, W. M. (1976). Hooked trichomes: A physical plant barrier to a major agricultural pest. *Science*, *193*(4252), 482–484.
<https://doi.org/10.1126/science.193.4252.482>
- Piluzza, G., Delogu, G., Cabras, A., Marceddu, S., & Bullitta, S. (2013). Differentiation between fiber and drug types of hemp (*Cannabis sativa* L.) from a collection of wild and domesticated accessions. *Industrial Crops and Products*, *60*, 2331–2342.
<https://doi.org/10.1007/s10722-013-0001-5>

- Poklis, J. L., Thompson, C. C., Long, K. A., Lichtman, A. H., & Poklis, A. (2010). Disposition of cannabichromene, cannabidiol, and Δ^9 -tetrahydrocannabinol and their metabolites in mouse brain following marijuana inhalation as determined by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Analytical Toxicology*, 34(8), 516–520. <https://doi.org/10.1093/jat/34.8.516>
- Potter, D. J. (2009). *The propagation, characterization and optimization of Cannabis sativa L. as a phytopharmaceutical* [Disertación doctoral]. King's College London.
- Potter, D. J. (2014). A review of the cultivation and processing of cannabis (*Cannabis sativa L.*) for production of prescription medicines in the UK. *Drug Testing and Analysis*, 6(1-2), 31–38. <https://doi.org/10.1002/dta.1531>
- Potter, D. J., & Duncombe, P. (2012). The effect of electrical lighting power and irradiance on indoor-grown cannabis potency and yield. *Journal of Forensic Sciences*, 57(3), 618–622. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.02024.x>
- Prenner, G., Vergara-Silva, F., & Rudall, P. J. (2009). The key role of morphology in modelling inflorescence architecture. *Trends in Plant Science*, 14(6), 302–309. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.03.004>
- Radwan, M. M., Ross, S. A., Slade, D., Ahmed, S. A., Zulfiqar, F., & ElSohly, M. A. (2008). Isolation and characterization of new constituents of *Cannabis* from a high potency variety. *Planta Medica*, 74(3), 267–272. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1034311>
- Raman, V., Lata, H., Chandra, S., Khan, I. A., & ElSohly, M. A. (2017). Morpho-anatomy of marijuana (*Cannabis sativa L.*). En S. Chandra, H. Lata, & M. A. ElSohly (Eds.), *Cannabis sativa L.: Botany and biotechnology* (pp. 123–136). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54564-6_5
- Ramírez, J. M. (2019). *La industria del cannabis medicinal en Colombia*. Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo. <http://hdl.handle.net/11445/3823>
- Robinson, B. B., & Wright, A. H. (1941). *Hemp: Its production and use as a fiber crop*. U.S. Department of Agriculture.

- Ross, S. A., & ElSohly, M. A. (1997). CBN and Δ^9 -THC concentration ratio as an indicator of the age of stored marijuana samples. *Bulletin on Narcotics*, 49(1), 139.
- Roulac, J. W. (Ed.). (1997). *Hemp horizons: The comeback of the world's most promising plant*. Chelsea Green Publishing.
- Rousserie, G., & Collazo, D. (2022). *Prospección de plagas, hongos y oomicetos asociados a enfermedades en Cannabis sativa L. en el sur de Uruguay* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Russo, E. B. (2011). Taming THC: Potential cannabis synergy and phytocannabinoid-terpenoid entourage effects. *British Journal of Pharmacology*, 163(7), 1344–1364. <https://doi.org/10.1111/j.1476-5381.2011.01238.x>
- Russo, E. B. (2019). The case for the entourage effect and conventional breeding of clinical cannabis: No “strain”, no gain. *Frontiers in Plant Science*, 9, Artículo e1969. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01969>
- Saloner, A., & Bernstein, N. (2020). Response of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.) to nitrogen supply under long photoperiod. *Frontiers in Plant Science*, 11, Artículo e592126. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.572293>
- 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(1), 43–57.
- Small, E. (2016). *Cannabis: A complete guide*. CRC. <https://doi.org/10.1201/9781315367583>
- Small, E., Jui, P., & Lefkovitch, L. P. (1976). A numerical taxonomic analysis of Cannabis with special reference to species delimitation. *Systematic Botany*, 1(1), 67–84. <https://www.jstor.org/stable/2418840>
- Spitzer-Rimon, B., Duchin, S., Bernstein, N., & Kamenetsky, R. (2019). Architecture and florogenesis in female Cannabis sativa plants. *Frontiers in Plant Science*, 10, Artículo e350. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00350>

- Struik, P. C., Amaducci, S., Bullard, M. J., Stutterheim, N. C., Ventura, G., & Cromack, H. T. H. (2000). Agronomy of fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) in Europe. *Industrial Crops and Products*, *11*(2–3), 107–118. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(99\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(99)00048-5)
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2014). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173165866>
- Taschwer, M., & Schmid, M. G. (2015). Determination of the relative percentage distribution of THCA and Δ^9 -THC in herbal cannabis seized in Austria: Impact of different storage temperatures on stability. *Forensic Science International*, *254*, 167–171. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.07.019>
- Uruguay XXI. (2023). *Sector Cannabis en Uruguay*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/9a6dde7632d555a44fec072d1f470acda7b48be0.pdf>
- Van der Werf, H. M. G. (1994). *Crop physiology of fibre hemp (Cannabis sativa L.)* [Disertación doctoral]. Wageningen Agricultural University.
- Van der Werf, H. M. G. (2004). Life cycle analysis of field production of fiber hemp: The effect of production practice on environmental impacts. *Euphytica*, *140*(1), 13–23. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4750-2>
- 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. *Field Crops Research*, *143*, 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>
- Van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, *52*(3), 197–208. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3)
- Vanhove, W., Surmont, T., Van Damme, P., & De Ruyver, B. (2012). Yield and turnover of illicit indoor cannabis (*Cannabis* spp.) plantations in Belgium. *Forensic Science International*, *220*(1-3), 265-270. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.03.013>

- Vemuri, V. K., & Makriyannis, A. (2015). Medicinal chemistry of cannabinoids. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 97(6), 553–558.
<https://doi.org/10.1002/cpt.115>
- Werker, E. (2000). Trichome diversity and development. *Advances in Botanical Research*, 31, 1–35. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(00\)31005-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(00)31005-9)
- Wilcox, L. V. (1955). *Classification and use of irrigation waters*. USDA.
- Wright, R. D., & Niemiera, A. X. (1987). Nutrition of container-grown woody nursery crops. En J. Janick (Ed.), *Horticultural Reviews* (Vol. 9, pp. 75–101). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781118060827.ch3>

9. ANEXOS

Anexo A

Características generales de cultivos a campo

Zafra	Cultivo	Variedad	Material	Calidad del plantín	Sup. (ha)	Poda	% PAR int.
2021- 2022	C1	Fedtonic	Esqueje	2	0,25	Apical	21,5
	C2	Cherry wine	Esqueje	2	0,25	Apical	52,2
	C3	Fedtonic	Semilla	1	0,95	Apical	51,8
	C4	StyD	Semilla	1	0,6	Apical	44,5
	C5	Fedtonic	Esqueje	1	0,6	Apical	35,6
	C6	Moca	Esqueje	1	1,3	Basal	10,1
	C7	Cherry wine	Esqueje	2	0,5	Basal	29,3
	C8	Fedtonic	Esqueje	2	0,6	Apical y Basal	22,1
	C9	Moca	Esqueje	2	0,8	Apical y Basal	31,8
	C10	StyD	Semilla	2	0,5	Apical	32,0
	C11	StyD	Semilla	2	0,25	Apical	30,9
	C12	Ultra violeta	Semilla	3	0,28	no	46,2
	C13	Queen dream	Semilla	3	1,96	no	65,6
	C14	Fedtonic	Semilla	3	0,32	no	43,6
	C15	Superwoman	Semilla	3	0,5	no	44,9
	C16	Hot Blonde	Semilla	3	0,5	no	48,9
	C17	Fedtonic	Semilla	s/d	0,4	no	31,8
	C18	Fedtonic	Semilla	s/d	1	no	25,0
	C19	Fedtonic	Semilla	1	0,5	no	52,3
	C20	CW2A	Esqueje	1	1	s/d	43,7
	C21	CW2A	Esqueje	1	1	s/d	38,0
	C22	Superwoman	Semilla	1	0,05	no	54,7
	C23	Fenoqueen	Semilla	1	1	no	53,5
	C24	Fenochesse	Semilla	1	0,7	no	s/d
	C25	Panakeia	Semilla	1	0,025	s/d	42,4
	C26	Fedtonic	Semilla	1	0,025	s/d	39,8
	C27	Fedtonic	Semilla	2	1	s/d	45,3
	C28	Fedtonic	Semilla	2	1	no	70,7
	C29	EfeQu	Semilla	1	1	no	66,8
	C30	Fedtonic	Semilla	1	1	no	40,5
	C31	Fedtonic	Semilla	2	0,5	no	36,3
Zafra 2022-2023	C1	Fedtonic	Esqueje	s/d	0,5	Apical y Basal	49,189
	C2	Fedtonic	Esqueje	1	0,3	no	68,0
	C3	Fedtonic	Esqueje	1	0,5	no	78,0
	C4	Fenochesse	Semilla	1	0,25	no	89,3
	C5	Early 9	Semilla	2	0,125	no	82,0
	C6	Early Trump	Semilla	1	0,125	no	77,2
	C7	Fedtonic	Semilla	2	0,305	no	s/d
	C8	HQ	Semilla	2	0,67	no	70,5
	C9	Moca	Semilla	2	0,22	no	s/d
	C10	Fedtonic	Semilla	1	0,18	no	s/d
	C11	Fedtonic	Esqueje	1	0,1	Apical	s/d
	C12	HQ	Esqueje	2	0,1	Apical	s/d

Nota. Sup.: Superficie. s/d: Sin dato. StyD: Stormy Daniels. CW2A: Charlotte Web. 1: Bueno, 2: Regular, 3: Malo. %PAR int.: Fracción de PAR interceptado a inicio de cosecha (%).

Anexo B*Fenología (fechas) y densidad de plantación de cultivos a campo*

Zafra	Cultivo	Sup. (ha)	Fecha siembra	Fecha trasplante	Inicio floración	Inicio cosecha	Fin de cosecha	Largo de ciclo (días)	Densidad al trasplante (plantas/ha)	Densidad a cosecha (plantas/ha)
2021-2022	C1	0,25	s/d	25-Nov	9-Feb	s/d	07-Abr	133	3092	3092
	C2	0,25	s/d	25-Nov	9-Feb	14-Abr	30-Abr	887	2995	2705
	C3	0,95	2-Nov	27-Dic	9-Feb	14-Mar- Feb4	20-Abr	845	3799	3554
	C4	0,6	2-Nov	22-Dic	11-Feb	30-Mar	1-Abr	100	2750	s/d
	C5	0,6	21-Oct	7-Dic	11-Feb	11-Mar	13-Mar	96	2778	s/d
	C6	1,3	1-Oct	2-Dic	9-Feb	04-Abr	10-May	159	4219	4219
	C7	0,5	10-set	1-Dic	9-Feb	s/d	s/d	s/d	4608	4032
	C8	0,6	set/ oct	24-Nov	27-Ene	15-Mar	24-Mar	120	4608	4493
	C9	0,8	15-Set	22-Nov	27-Feb	s/d	s/d	s/d	4608	4608
	C10	0,5	29-Oct	29-Nov	27-Ene	21-Mar	29-Mar	120	4608	4493
	C11	0,25	25-Nov	27-Dic	Feb	29-Mar	8-Abr	102	4608	4301
	C12	0,28	5-Nov	11-Dic	Feb	14-Mar	16-Abr	857	2667	2667
	C13	1,96	5-Nov	10-Dic	Feb	14-Mar	16-Abr	858	2917	2917
	C14	0,32	5-Nov	14-Dic	Feb	14-Mar	16-Abr	854	2231	2231
	C15	0,5	5-Nov	11-Dic	Feb	14-Mar	16-Abr	857	2385	2385
	C16	0,5	5-Nov	13-Dic	Feb	14-Mar	16-Abr	855	2385	1923
	C17	0,4	S/d	4-Dic	s/d	s/d	s/d	s/d	3333	s/d
	C18	1	S/d	2-Dic	s/d	s/d	s/d	s/d	2778	s/d
	C19	0,5	S/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	8929	s/d
	C20	1	S/d	11-Dic	5-Feb	16-Mar	21-Mar	100	6667	6667
	C21	1	S/d	11-Dic	5-Feb	21-Mar	28-Mar	107	3333	3333
	C22	0,05	S/d	7-Dic	7-Feb	29-Mar	29-Mar	112	10000	10000
	C23	1	S/d	11-Dic	s/d	11-Mar	4-Abr	114	7937	s/d
	C24	0,7	S/d	11-Dic	s/d	11-Mar	4-Abr	114	5848	s/d
	C25	0,025	8-Nov	6-Dic	s/d	14-Mar	28-Mar	112	5000	5000
	C26	0,025	8-Nov	6-Dic	s/d	14-Mar	30-Mar	114	5000	5000
	C27	1	S/d	8-Dic	26-Ene	s/d	s/d	s/d	5000	s/d
	C28	1	S/d	14-Dic	3-Feb	20-Mar	30-Mar	106	5000	5000
	C29	1	3-Nov	7-Dic	4-Feb	11-Mar	25-Mar	108	5000	5000
	C30	1	s/d	10-Dic	s/d	7-Abr	8-Abr	119	3333	3333
	C31	0,5	s/d	23-Dic	5-Feb	8-Abr	8-Abr	106	5000	s/d
Zafra 2022-2023	C1	0,5	s/d	17-Nov	20-Ene	12-Mar	15-Mar	118	2666	2560
	C2	0,3	13-Oct	15-Nov	28-Dic	31-Mar	31-Mar	136	10000	10000
	C3	0,5	4-Dic	28-Dic	1-Mar	28-Mar	10-Abr	103	5714	s/d
	C4	0,25	20-Dic	23-Ene	15-Mar	27-Abr	5-May	102	5714	s/d
	C5	0,12	10-Ene	1-Feb	18-Mar	30-Abr	5-May	93	5714	s/d

Zafra	Cultivo	Sup. (ha)	Fecha siembra	Fecha trasplante	Inicio floración	Inicio cosecha	Fin de cosecha	Largo de ciclo (días)	Densidad al trasplante (plantas/ha)	Densidad a cosecha (plantas/ha)
	C6	0,12	10-Ene	7-Feb	18-Mar	30-Abr	5-May	87	5714	s/d
	C7	0,30	20-Dic	8-Ene	1-Mar	20-Mar	24-Mar	75	5000	5000
	C8	0,67	24-Dic	8-Ene	1-Mar	25-Mar	10-Abr	92	5000	5000
	C9	0,22	25-Oct	30-Nov	25-Feb	20-Mar	25-Mar	115	6000	s/d
	C10	0,18	25-Oct	28-Nov	25-Feb	20-Mar	25-Mar	117	6667	s/d
	C11	0,1	25-Oct	18-Ene	1-Mar	20-Mar	25-Mar	66	6250	s/d
	C12	0,1	25-Oct	18-Ene	1-Mar	10-Abr	11-Abr	83	6250	s/d

Nota. s/d: Sin dato

Anexo C*Características generales de cultivos bajo Invernáculo*

Zafra	Cultivo	Tipo	Variedad	Sup. (m ²)	Calidad del plantín	Poda	%PAR int
2021-2022	I1	Esqueje	Fedtonic	288	1	Apical y Basal	78,8
	I2	Esqueje	Cherry wine	288	2	Apical y Basal	75,2
	I3	Semilla	CBD Punch 22	705	2	Apical y Basal	48,8
	I4	Esqueje	Moca	562,5	2	Apical y Basal	83,4
	I5	Esqueje	Fedtonic	562,5	1	Apical y Basal	62,9
	I6	Semilla	Fenocheese	421,9	1	Apical y Basal	78,5
	I7	Semilla	HQ x HQ	421,9	1	Apical y Basal	67,5
	I8	Semilla	Superwoman	135	2	s/d	84,0
	I9	Semilla	Fenoqueen	1000	2	Apical y Basal	69,5
	I10	Semilla	Fedtonic	300	1	s/d	39,0
2022-2023	I1	Semilla	Orange Sunrise	576	1	Apical y Basal	s/d
	I2	Semilla	Fedtonic	562	1	Apical y Basal	93,1
	I3	Semilla	Fenocheese	562	2	Apical y Basal	93,9
	I4	Semilla	Fedtonic	600	1	Apical y Basal	s/d
	I5	Esqueje	Goliath	480	1	s/d	s/d
	I6	Esqueje	Fedtonic	500	1	s/d	87,9
	I7	Esqueje	HQ	500	1	Apical y Basal	93,0
	I8	Esqueje	HQ	675	2	Apical y Basal	s/d
	I9	Esqueje	Fedtonic	675	2	Apical y Basal	s/d
	I10	Semilla	Panakeia	675	1	s/d	s/d

Nota. Sup.: Superficie. s/d: Sin dato. %PAR int.: Fracción de PAR interceptado a inicio de cosecha (%).

Anexo D*Características generales de los invernáculos*

Zafra	Cultivo	Material	Orientación	Edad nylon (años)	Cenital (si/no)	Transmisividad (%)
2021- 2022	I1	Madera	este - oeste	0	Si	62,1
	I2	Madera	este - oeste	0	Si	62,1
	I3	Metal	este - oeste	0	no	71
	I4	Madera	Este - oeste	0	Sí	39,4
	I5	Madera	Este - oeste	0	Sí	39,4
	I6	Madera	norte - sur	0	Sí	58
	I7	Madera	norte - sur	0	Sí	58
	I8	Madera	este - oeste	0	Sí	s/d
	I9	Metal	este - oeste	0	Sí	s/d
	I10	Madera	este-oeste	0	No	62,7
2022- 2023	I1	Madera	este - oeste	1	Sí	s/d
	I2	Madera	norte - sur	1	Sí	31,4
	I3	Madera	norte - sur	1	Sí	37,5
	I4	Metal	este-oeste	1	No	s/d
	I5	Metal	norte-sur	0	No	s/d
	I6	Metal	Norte-sur	0	No	42,1
	I7	Metal	Norte-sur	0	No	27,7
	I8	Madera	Norte-sur	1	No	35,4
	I9	Madera	Norte-sur	1	No	35,8
	I10	Madera	Norte-sur	1	No	35,8

Nota. s/d: Sin dato.

Anexo E*Fenología (fechas) de cultivos bajo invernáculo*

Zafra	Cultivo	Fecha siembra	Fecha Trasplante	inicio de floración	Inicio de cosecha	Fin cosecha	Largo de ciclo (días)	Densidad al trasplante (pl/m ²)	Densidad a cosecha (pl/m ²)
2021-2022	I1	s/d	25-Ene	9-Feb	14-Abr	14-Abr	140	0,40	0,4
	I2	s/d	25-Ene	9-Feb	14-Abr	14-Abr	140	0,40	0,4
	I3	9-Nov	7-Dic	11-Feb	08-Abr	09-Abr	123	0,10	s/d
	I4	s/d	22-Ene	2-Feb	14-Abr	16-Abr		0,50	s/d
	I5	s/d	24-Ene	2-Feb	24-Mar	27-Mar	123	0,50	s/d
	I6	29-Nov	30-Dic	13-Feb	15-Abr	19-Abr	110	4,70	s/d
	I7	20-Dic	12-Ene	23-Feb	20-Abr	28-Abr	106	4,70	4,7
	I8	s/d	03-Dic	1-Feb	29-Mar	29-Mar	116	2,00	2
	I9	s/d	11-Dic	5-Feb	11-Mar	04-Abr	114	0,60	s/d
	I10	s/d	10-Ene	s/d	s/d	s/d	s/d	0,6	s/d
2022-2023	I1	s/d	9-Dic	10-Feb	18-Abr	04-May	146	4,7	4,7
	I2	3-Dic	29-Di	15-Feb	29-Abr	s/d	121	4,7	4,7
	I3	5-Ene	2-Feb	s/d	s/d	s/d	95	8	s/d
	I4	1-Dic	30-Dic	14-Feb	3-Mar	6-Mar	66	1,4	s/d
	I5	s/d	31-Dic	16-Feb	24-Mar	26-Mar	85	1	s/d
	I6	s/d	12-Dic	15-Feb	29-Mar	7-Abr	116	1	s/d
	I7	s/d	27-Dic	20-Feb	14-Abr	21-Abr	115	1	s/d
	I8	s/d	s/d	s/d	7-Abr	10-Abr	s/d	1,5	s/d
	I9	s/d	s/d	s/d	17-Mar	20-Mar	s/d	1,5	s/d
	I10	s/d	s/d	s/d	5-Abr	7-Abr	s/d	1,5	s/d

Nota. s/d: Sin dato.

Anexo F*Análisis de suelo de cultivos a campo*

Zafra	Cultivo	MOS (%)	pH	P bray (ppm)	K int (meq/100g)	Ca int (meq/110g)	Mg int (meq/100g)	Na int (meq/100g)
2021-2022	C1	2,25	5,7	38,9	0,67	10,6	5,2	0,24
	C2	2,25	5,7	38,9	0,67	10,6	5,2	0,24
	C3	2,5	5,9	29,2	0,53	14,2	4,2	0,13
	C4	2,12	7	51,2	0,8	13,3	5	0,45
	C5	2,12	7	51,2	0,8	13,3	5	0,45
	C6	1,59	5,8	>100	0,61	10,3	3,7	0,29
	C7	1,47	6	9	0,6	6,3	4	0,47
	C8	1,47	6	9	0,6	6,3	4	0,47
	C9	1,47	6	9	0,6	6,3	4	0,47
	C10	1,47	6	9	0,6	6,3	4	0,47
	C11	1,47	6	9	0,6	6,3	4	0,47
	C12	2,29	5,3	41	0,45	6,2	2,4	0,22
	C13	2,29	5,3	41	0,45	6,2	2,4	0,22
	C14	2,29	5,3	41	0,45	6,2	2,4	0,22
	C15	2,29	5,3	41	0,45	6,2	2,4	0,22
	C16	2,29	5,3	41	0,45	6,2	2,4	0,22
	C17	2,68	6,4	83,3	0,83	16,4	5,6	0,27
	C18	4,22	7,1	>100	2,17	25,1	4,1	0,13
	C19	1,09	6,1	>100	0,45	3,2	1,4	0,47
	C20	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C21	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C22	4,81	5,5	54,9	0,91	9,7	4,4	0,1
	C23	2,32	6,1	26,9	0,93	5,9	3,9	0,35
	C24	2,32	6,1	26,9	0,93	5,9	3,9	0,35
	C25	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C26	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C27	2,24	6,4	>100	0,93	9,7	3,7	0,32
	C28	1,5	7,3	44,1	0,63	8,7	4,2	0,69
	C29	1,56	6,7	>100	0,61	14,8	4,8	0,11
	C30	2,75	5,5	28,1	0,88	8,1	4	0,37
	C31	1,85	7	20,5	0,45	13,8	2,5	0,13
Zafra 2022-2023	C1	2,04	5,9	94,7	1,16	10,1	4,1	0,27
	C2	2,07	5,9	8,6	0,39	6,3	2,8	0,66
	C3	2,34	5,4	27,8	0,49	8,2	2,9	0,53
	C4	2,34	5,4	27,8	0,49	8,2	2,9	0,53
	C5	2,34	5,4	27,8	0,49	8,2	2,9	0,53
	C6	2,34	5,4	27,8	0,49	8,2	2,9	0,53
	C7	3,36	5,5	14,4	0,6	9,7	3,6	0,45
	C8	3,36	5,5	14,4	0,6	9,7	3,6	0,45
	C9	1,87	5,8	30,9	0,87	7,2	3,4	0,29
	C10	2,41	5,3	20,2	0,51	5,3	1,8	0,2
	C11	2,73	6,9	80,2	1,14	3,8	4,1	0,96
	C12	2,73	6,9	80,2	1,14	3,8	4,1	0,96

Anexo G

Nutrición de cultivos a campo

Zafra	Cultivo	N hoja (%)	P hoja (g/kg)	K hoja (g/kg)	K savia (ppm)	Ca savia (ppm)	Na savia (ppm)
	C1	3,05	0,65	34,46	110	89	91
	C2	3,05	0,2	22,18	63	48	96
	C3	4,54	0,23	26,45	160	140	57
	C4	4,13	0,36	31,02	930	220	93
	C5	2,97	0,45	25,56	860	120	68
	C6	3,7	0,32	22,44	700	82	110
	C7	2,85	0,13	19,74	130	110	200
	C8	3,1	0,2	18,99	29	35	140
	C9	4,19	0,25	28,13	200	110	180
	C10	3,86	0,6	17,19	83	130	170
	C11	4,41	0,28	30,12	62	100	130
	C12	4,26	0,39	28,54	130	47	58
	C13	4,48	0,48	24,59	120	48	44
	C14	4,06	0,34	22,01	190	150	110
	C15	2,95	0,24	16,95	170	84	98
2021- 2022	C16	3,18	0,97	23,88	170	100	100
	C17	4,42	0,23	17,96	76	48	65
	C18	4,54	0,23	26,45	100	86	49
	C19	4,8	0,6	28,31	88	66	45
	C20	4,94	0,34	26,14	500	69	110
	C21	3,27	0,26	19,03	470	63	130
	C22	4,4	0,27	27,58	510	45	40
	C23	4,06	0,15	25,44	280	150	110
	C24	2,24	0,3	21,23	s/d	s/d	s/d
	C25	4,21	0,35	23,63	980	110	72
	C26	4,97	3,05	37,01	470	120	82
	C27	3,89	0,21	18,05	420	120	74
	C28	4,31	0,34	24,04	110	71	43
	C29	4,56	0,36	21,45	64	100	57
	C30	3,39	0,27	20,95	400	90	64
	C31	3,18	0,42	29,12	160	87	50
	C1	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C2	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C3	35,59	1,99	14,96	s/d	s/d	s/d
	C4	53,3	3,87	15,01	1700	360	s/d
	C5	50,88	4,7	15,17	1200	210	s/d
Zafra	C6	52,41	4,34	17,09	1300	270	s/d
2022- 2023	C7	s/d	s/d	s/d	1300	160	s/d
	C8	s/d	s/d	s/d	1700	250	s/d
	C9	22,57	2,54	13,49	s/d	s/d	s/d
	C10	18,9	2,34	12,8	s/d	s/d	s/d
	C11	29,06	4,71	15,6	s/d	s/d	s/d
	C12	31,32	2,97	15,13	s/d	s/d	s/d

Nota. s/d: Sin dato.

Anexo H*Análisis de suelo de cultivos bajo invernáculo*

Zafra	Cultivo	MOS (%)	Ph	P bray	K int	Ca int	Mg int	Na int
2021- 2022	I1	1,76	5,7	46,9	0,61	9,9	4,7	0,23
	I2	1,76	5,7	46,9	0,61	9,9	4,7	0,23
	I3	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I4		6,9	>100	1,71	5,1	4	0,84
	I5	2,99	6,9	>100	1,71	5,1	4	0,84
	I6	1,47	6,6	57,9	1,09	12,1	6,5	0,65
	I7	1,47	6,6	57,9	1,09	12,1	6,5	0,65
	I8	3,44	5,7	22,9	0,7	8,2	4,3	0,19
	I9	2,32	6,1	26,9	0,93	5,9	3,9	0,35
	I10	2,3	6,3	12,3	0,78	11,5	4,5	0,15
2022- 2023	I1	1,92	6,1	>100	1,67	8,8	3,9	0,81
	I2	1,56	6,7	57,8	0,86	11,3	4,9	1,11
	I3	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I4	13,94	6	>100	3,82	19,5	7,1	0,89
	I5	4,87	7,4	>100	1,82	19,4	5,9	1,65
	I6	2,17	5,5	17	0,63	5,2	2	0,82
	I7	2,17	5,5	17	0,63	5,2	2	0,82
	I8	2,96	6,2	>100	1,23	10,5	4,1	1,59
	I9	2,96	6,2	>100	1,23	10,5	4,1	1,59
	I10	2,96	6,2	>100	1,23	10,5	4,1	1,59

Nota. s/d: Sin dato.

Anexo I*Nutrición de cultivos bajo invernáculo*

Zafra	Cultivo	Nutrientes a inicio de floración					
		N hoja (%)	P hoja (%)	K hoja (%)	K+ savia (ppm)	Ca++ savia (ppm)	Na+ savia (ppm)
2021- 2022	I1	4,19	0,25	28,10	90	68	50
	I2	3,05	0,2	22,2	38	53	41
	I3	s/d	s/d	s/d	320	73	150
	I4	4,09	0,31	19,1	100	89	100
	I5	3,7	0,77	22,1	96	110	69
	I6	4,32	0,31	31,5	1000	260	47
	I7	4	0,34	21,6	600	190	46
	I8	4,61	0,76	31,2	600	51	30
	I9	2,78	0,29	18,6	340	200	45
	I10	3,81	0,28	28,7	240	120	71
2022- 2023	I1	47,39	3,96	12,4	1100	130	s/d
	I2	40,26	4,07	14,9	2000	240	s/d
	I3	46,29	3,72	15,8	3700	460	s/d
	I4	s/d	s/d	s/d	2300	170	s/d
	I5	37,05	3,42	12,7	1300	180	s/d
	I6	s/d	s/d	s/d	1500	170	s/d
	I7	s/d	s/d	s/d	2400	240	s/d
	I8	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I9	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I10	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d

Nota. s/d: Sin dato.

Anexo J*Análisis de agua cultivos a campo*

Zafra	Cultivo	pH agua	CE (dS/m)	Bicarbonatos Meq/L	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	RAS
	C1	6,3	0,11	1	0,35	0,1	0,55	0,13	0,6
	C2	6,3	0,11	1	0,35	0,1	0,55	0,13	0,6
	C3	7,1	0,25	1,8	1,02	0,1	0,85	0,44	1,3
	C4	7,3	0,26	2,1	1,04	0,1	1,03	0,37	1,2
	C5	7,3	0,26	2,1	1,04	0,1	1,03	0,37	1,2
	C6	7,4	0,96	6,8	4,72	0,2	3,16	0,96	3,3
	C7	7,4	1,06	6,6	5,24	0,2	2,12	1,39	4
	C8	7,4	1,06	6,6	5,24	0,2	2,12	1,39	4
	C9	7,4	1,06	6,6	5,24	0,2	2,12	1,39	4
	C10	7,4	1,06	6,6	5,24	0,2	2,12	1,39	4
	C11	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C12	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C13	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C14	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C15	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
2021- 2022	C16	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C17	6,5	0,48	4,6	3,81	0,2	1,4	0,75	3,7
	C18	7,1	1,04	9,6	13,61	0,1	1,81	1,13	11,2
	C19	7,6	0,77	4,1	8,95	0,2	0,66	0,63	11,1
	C20	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C21	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C22	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C23	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C24	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C25	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C26	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C27	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C28	6,3	3,89	1,5	2,23	24	0,87	0,55	2,6
	C29	6,1	0,34	2,3	0,47	1,1	0,63	0,28	0,7
	C30	7	1,29	10	6,87	0,1	3,59	2,03	4,1
	C31	6	0,15	0,9	0,3	0,2	0,44	0,17	0,5
	C1	6,6	0,13	0,8	0,25	0,3	0,8	0,16	0,4
	C2	7,1	1,02	6,3	5,54	0,2	3,44	2,13	3,3
	C3	7,1	1,02	6,3	5,54	0,2	3,44	2,13	3,3
	C4	6,5	0,93	3,9	7,44	0,2	1,84	2,09	5,3
	C5	5,5	0,17	0,9	0,52	0,3	0,81	0,31	0,7
2022- 2023	C6	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C7	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C8	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C9	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C10	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C11	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	C12	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d

Nota. s/d: Sin dato.

Anexo K*Análisis de agua de cultivos bajo invernáculo*

Zafra	Cultivo	pH agua	CE (dS/m)	Bicarbonatos Meq/L	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	RAS	
2021- 2022	I1	6,27	0,106	0,97	0,35	0,13	0,55	0,13	0,6	
	I2	6,27	0,106	0,97	0,35	0,13	0,55	0,13	0,6	
	I3	7,31	0,182	1,71	0,4	0,22	1,14	0,22	0,5	
	I4	7,38	1,059	6,55	5,24	0,23	2,12	1,39	4	
	I5	7,38	1,059	6,55	5,24	0,23	2,12	1,39	4	
	I6	7,4	1,028	8,14	4,54	0,1	3,34	1,85	2,8	
	I7	7,4	1,028	8,14	4,54	0,1	3,34	1,85	2,8	
	I8	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I9	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I10	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
2022- 2023	I1	6,61	0,131	0,8	0,25	0,27	0,8	0,16	0,4	
	I2	7,11	1,024	6,34	5,54	0,22	3,44	2,13	3,3	
	I3	7,11	1,024	6,34	5,54	0,22	3,44	2,13	3,3	
	I4	6,49	0,932	3,93	7,44	0,21	1,84	2,09	5,3	
	I5	5,46	0,171	0,89	0,52	0,34	0,81	0,31	0,7	
	I6	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I7	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I8	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I9	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	I10	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d

Nota. s/d: Sin dato.

Anexo L*Plagas en cultivos a campo*

Zafra	Cultivo	Arañuela	Mosca blanca	Acaro blanco	Lagarta	Hormiga	Diabrotica	Trips
2021- 2022	C1	1	0	0	0	0	1	1
	C2	1	0	0	0	0	1	1
	C3	0	0	0	1	0	1	0
	C4	0	0	0	0	0	1	0
	C5	0	0	0	0	1	1	1
	C6	0	0	0	0	0	0	0
	C7	0	0	0	0	0	1	0
	C8	0	0	0	1	1	1	0
	C9	0	0	0	1	0	1	0
	C10	0	0	0	0	0	1	1
	C11	0	0	0	0	1	1	0
	C12	0	0	0	0	1	1	1
	C13	0	0	0	0	1	1	0
	C14	0	0	0	0	1	1	1
	C15	0	0	0	0	1	1	1
	C16	0	0	0	0	1	1	1
	C17	0	0	0	0	0	0	0
	C18	0	0	0	0	0	1	0
	C19	0	0	0	0	0	1	0
	C20	0	0	0	0	0	1	0
	C21	0	0	0	0	0	1	0
	C22	0	0	0	0	0	1	0
	C23	0	0	0	0	0	1	0
	C24	0	0	1	0	0	1	0
	C25	0	0	0	0	0	1	0
	C26	0	0	0	0	0	1	0
	C27	0	0	0	0	0	1	0
	C28	0	0	0	0	0	1	0
	C29	0	0	0	0	0	1	0
	C30	0	0	0	0	0	1	0
	C31	0	0	0	0	0	1	0
2022- 2023	C1	0	0	0	0	0	1	0
	C2	0	0	0	0	0	1	0
	C3	0	0	0	0	0	1	0
	C4	0	0	0	0	0	0	1
	C5	0	0	0	0	0	0	0
	C6	0	0	0	0	0	0	0
	C7	0	0	0	0	0	0	0
	C8	0	0	0	0	0	0	1
	C9	0	0	0	0	0	1	0
	C10	0	0	0	0	0	0	0
	C11	0	0	0	0	0	0	0
	C12	0	0	0	0	0	0	0

Nota. s/d: Sin dato. 0: sin presencia, 1: Baja incidencia, 2: Moderada incidencia, 3: Alta incidencia.

Anexo M*Plagas en cultivos bajo invernáculo*

Zafra	Cultivo	Arañuela	Mosca blanca	Acaro blanco	Lagarta	Hormiga	Diabrotica	Trips
2021-2022	I1	1	0	0	0	0	1	1
	I2	1	0	0	0	0	1	0
	I3	0	0	0	1	0	1	0
	I4	1	0	0	0	1	1	0
	I5	1	0	0	0	1	1	1
	I6	0	0	0	1	0	1	0
	I7	1	0	0	0	0	1	0
	I8	1	0	0	0	0	1	0
	I9	0	0	0	0	0	1	0
	I10	0	0	0	0	0	1	1
2022-2023	I1	0	0	0	0	0	1	0
	I2	0	0	0	0	0	1	1
	I3	0	0	0	0	0	1	0
	I4	0	0	0	0	0	1	1
	I5	0	0	0	0	0	1	1
	I6	0	0	0	0	0	1	1
	I7	0	0	0	0	0	0	0
	I8	0	0	0	0	0	0	0
	I9	0	0	0	0	0	0	0
	I10	0	0	0	0	0	0	0

Nota. s/d: Sin dato. 0: sin presencia, 1: Baja incidencia, 2: Moderada incidencia, 3: Alta incidencia.

Anexo N

Enfermedades en cultivos a campo

Zafra	Cultivo	Botrytis	Fusarium	Oidio	Marchitamiento generalizado	Cancro tallos y ramas
	C1	1	0	0	0	0
	C2	1	0	0	0	0
	C3	0	0	0	1	0
	C4	0	Si	0	0	0
	C5	0	0	0	0	1
	C6	0	0	0	0	0
	C7	0	0	0	0	0
	C8	0	0	0	0	0
	C9	0	0	0	0	0
	C10	0	0	0	0	0
	C11	0	0	0	0	1
	C12	0	0	0	0	1
	C13	0	0	0	0	1
	C14	0	0	0	0	1
	C15	0	0	0	0	1
2021- 2022	C16	0	0	0	0	1
	C17	0	0	0	0	0
	C18	0	0	0	0	0
	C19	0	0	0	0	0
	C20	0	0	0	0	0
	C21	0	0	0	0	0
	C22	0	0	0	0	0
	C23	0	0	0	0	0
	C24	0	0	0	0	0
	C25	0	0	0	0	0
	C26	0	0	0	0	0
	C27	0	0	0	0	0
	C28	0	0	0	0	0
	C29	0	0	0	0	0
	C30	0	0	0	0	0
	C31	0	0	0	0	0
	C1	0	0	0	0	0
	C2	0	0	0	1	0
	C3	0	0	0	0	0
	C4	0	0	0	0	0
	C5	0	0	0	0	0
2022- 2023	C6	0	0	0	0	0
	C7	0	0	0	1	0
	C8	0	0	0	0	0
	C9	0	0	0	0	0
	C10	0	0	0	0	0
	C11	0	0	0	0	0
	C12	0	0	0	0	0

Nota. s/d: Sin dato. 0: sin presencia, 1: Baja incidencia, 2: Moderada incidencia, 3: Alta incidencia.

Anexo O*Enfermedades en cultivos bajo invernáculo*

Zafra	Cultivo	Botrytis	Fusarium	Oidio	Marchitamiento generalizado
2021- 2022	I1	1	0	0	0
	I2	1	0	0	0
	I3	0	0	0	1
	I4	0	0	0	0
	I5	0	0	0	0
	I6	0	0	0	0
	I7	0	0	0	0
	I8	0	0	0	0
	I9	0	0	0	0
	I10	0	0	0	0
2022- 2023	I1	0	0	0	0
	I2	1	0	0	0
	I3	0	0	0	0
	I4	0	0	0	0
	I5	1	0	0	0
	I6	0	0	0	0
	I7	0	0	0	0
	I8	0	0	0	0
	I9	0	0	0	0
	I10	0	0	0	0

Nota. s/d: Sin dato. 0: sin presencia, 1: Baja incidencia, 2: Moderada incidencia, 3: Alta incidencia.

Anexo P*Rendimiento en cultivos a campo*

Zafra	Cultivo	Rendimiento (g/pl)	Rendimiento 15% H (g/pl)	Rendimiento 15 % H (kg/ha)
2021- 2022	C1	806,1	232,0	717,3
	C2	932,5	311,0	931,5
	C3	493,9	113,3	430,5
	C4	727,8	175,6	482,8
	C5	850,2	234,0	650,0
	C6	1081,3	294,6	1242,8
	C7	228,6	74,1	341,6
	C8	282,4	77,5	357,2
	C9	325,5	107,0	492,9
	C10	294,7	74,7	344,2
	C11	285,6	72,4	333,6
	C12	519,6	137,8	367,5
	C13	718,1	182,4	532,1
	C14	326,8	89,6	199,9
	C15	433,1	120,4	287,1
	C16	637,6	181,6	433,0
	C17	404,3	108,9	363,0
	C18	312,0	82,9	230,4
	C19	322,0	81,4	727,2
	C20	s/d	s/d	s/d
	C21	1037,5	257,1	857,0
	C22	501,6	134,2	1342,4
	C23	318,8	93,5	741,9
	C24	337,5	103,1	603,2
	C25	737,7	181,8	909,0
	C26	535,3	144,9	724,3
	C27	231,9	60,6	302,8
	C28	826,1	164,5	822,5
	C29	558,0	155,6	778,0
	C30	318,0	67,9	226,5
	C31	596,7	120,1	600,5
Zafra 2022- 2023	C1	582,4	154	411
	C2	227	60	601
	C3	s/d	90	514,26
	C4	1916	283	1618
	C5	1765	266	1519
	C6	2017	294,7	1684
	C7	160	60	300
	C8	s/d	s/d	s/d
	C9	s/d	s/d	s/d
	C10	s/d	s/d	s/d
	C11	s/d	s/d	s/d
	C12	s/d	s/d	s/d

Nota. s/d: Sin dato.

Anexo Q*Rendimiento en cultivos bajo invernáculo*

Zafra	Cultivo	Rendimiento (g/pl)	Rendimiento 15% H (g/pl)	Rendimiento 15 % H (g/m ²)
2021- 2022	I1	1042,5	290,7	111,5
	I2	1217,8	409,0	43,0
	I3	394,1	99,4	67,5
	I4	654,9	187,2	104,4
	I5	650,8	168,2	91,3
	I6	222,8	62,4	128,5
	I7	231,1	60,7	721,8
	I8	837,8	238,1	336,3
	I9	423,4	114,7	33,7
	I10	s/d	s/d	s/d
2022- 2023	I1	1733,9	458,6	275,2
	I2	1708,8	452,0	2124,2
	I3	1113,0	294,4	1383,6
	I4	496,6	131,4	183,9
	I5	632,6	167,3	234,2
	I6	417,0	110,3	107,7
	I7	407,0	107,7	110,3
	I8	s/d	115,9	146,9
	I9	s/d	90,8	173,8
	I10	s/d	170,8	245,6

Nota. s/d: Sin dato.