

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTOS DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE
EL DESARROLLO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO
DE CANNABIS PARA FLOR MEDICINAL**

por

**Antonela FERNÁNDEZ CIRIGLIANO
Javier Abel ANTÚNEZ SIERRA**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

Hoja de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. Dra. Mercedes Arias Sibilotte

Tribunal:

B.C. Dra. Bettina Lado Linder

Ing. Agr. MSc. María Carolina Munka Moreno

Ing. Agr. Dr. Guillermo Siri Prieto

Fecha:

17 de agosto de 2023

Estudiante:

Antonela Fernández Cirigliano

Javier Abel Antúnez Sierra

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de nuestro trabajo final de grado. En primer lugar, agradecemos a los dueños del predio por su disposición y generosidad al permitirnos llevar a cabo nuestro ensayo en sus instalaciones, lo que fue fundamental para la obtención de los resultados. Asimismo, queremos agradecer a los funcionarios por su valiosa colaboración en la provisión de información y herramientas que nos permitieron llevar a cabo nuestro trabajo de manera eficiente.

También queremos agradecer a los profesores de la Facultad de Agronomía por su dedicación y orientación en la realización de nuestro trabajo, ya que sin su guía y conocimiento no hubiera sido posible alcanzar nuestro objetivo. Y finalmente, a nuestras familias por el apoyo constante e incondicional durante toda la carrera.

Tabla de contenido

Hoja de aprobación.....	2
Agradecimientos.....	3
Resumen	8
Summary	9
1. Introducción.....	10
1.1 Objetivos	11
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	11
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	11
2. Revisión bibliográfica	12
2.1 Descripción de la especie.....	12
2.1.1 <i>Origen y evolución</i>	12
2.1.2 <i>Ciclo y fenología</i>	13
2.1.3 <i>Cannabinoides</i>	14
2.2 Producción mundial.....	15
2.3 Producción nacional	16
2.3.1 <i>Marco legal</i>	16
2.3.2 <i>Sistemas de producción en Uruguay</i>	18
2.4 Rendimiento: Factores y componentes de cultivo a campo	21
2.4.1 <i>Genética</i>	21
2.4.2 <i>Ambiente</i>	22
2.4.2.1 Luz y fotoperiodo.....	22
2.4.2.2 Temperatura.....	23
2.4.2.3 Humedad.....	24
2.4.3 <i>Manejo</i>	25
2.4.3.1 Densidad de siembra.....	25
2.4.3.2 Fertilización	27
2.4.3.3 Riego.....	28
2.4.3.4 Fecha de siembra.....	29
2.4.3.5 Poda.....	29
2.4.3.6 Manejos poscosecha.....	30
3. Materiales y métodos.....	31
3.1 Descripción del área.....	31

3.2	Diseño experimental.....	31
3.3	Implantación y manejo agronómico	33
3.4	Mediciones	33
3.5	Registros meteorológicos.....	35
3.6	Análisis de datos	35
4.	Resultados.....	36
4.1	Datos climáticos	36
4.2	Ciclo del cultivo	37
4.3	Altura de la planta	38
4.3.1	Efecto de la densidad de siembra en la altura de la planta en función de GDD	38
4.3.2	Regresión lineal ajustada para altura en función de GDD	40
4.4	Número de nudos.....	41
4.4.1	<i>Número de nudos opuestos</i>	41
4.4.1.1	Efecto de la densidad de siembra en el número de nudos opuesto en función de GDD.....	41
4.4.1.2	Regresión lineal ajustada para el número de nudos opuestos acumulados en función de los GDD	43
4.4.2	<i>Nudos alternos</i>	44
4.4.2.1	Efecto de la densidad de siembra en el número de nudos alternos en función de GDD.....	44
4.4.2.2	Regresión lineal ajusta de nudos alternos acumulados en función de GDD.....	46
4.5	Efecto de la densidad de siembra en el índice de área	47
4.6	Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento en flor.....	48
4.7.	Análisis de correlación	49
5.	Discusión	51
6.	Conclusiones	54
7.	Referencias	55
8.	Anexos	69

Lista de figuras y tablas

Figura No.

Figura 1	<i>Diagrama del predio con la ubicación de los ensayos realizados</i>	32
Figura 2	<i>Diagrama representativo del uso del ceptómetro</i>	34
Figura 3	<i>Registro de temperaturas máximas, mínimas y promedio mensuales del periodo 2020-2021 e históricas</i>	36
Figura 4	<i>Registros de precipitaciones acumuladas (mm) mensuales del periodo 2020-2021 e históricas</i>	37
Figura 5	<i>Evolución de la altura del cultivo de cannabis para cada tratamiento en función de GDD</i>	40
Figura 6	<i>Regresión lineal ajustada para la altura en función de los GDD para cada tratamiento, con sus correspondientes ecuaciones y R2</i>	41
Figura 7	<i>Evolución del número de nudos opuestos acumulados para cada tratamiento en función de GDD</i>	43
Figura 8	<i>Regresión lineal ajustada para el número de nudos opuestos acumulados en función de los GDD</i>	44
Figura 10	<i>Evolución de nudos opuestos y alternos para cada tratamiento según GDD</i>	46
Figura 11	<i>Regresión lineal de nudos alternos para los diferentes tratamientos</i> .47	

Tabla No.

Tabla 1	<i>Datos de superficie y número de licencias desde 2014 a 2022 en Uruguay</i>	19
Tabla 2	<i>Cultivares con su origen y estructura genética registrado en INASE</i> ...	20
Tabla 3	<i>Peso seco de flor (kg/ha) en diferentes densidades de siembra y variedades</i>	27
Tabla 4	<i>Numeración de los tratamientos con distancia entre plantas, número y largo del bloque</i>	32
Tabla 5	<i>Etapas del ciclo del cultivo desde trasplante a coseche</i>	38
Tabla 6	<i>Altura promedio para cada tratamiento en cada fecha de muestreo medidos en GDD</i>	39
Tabla 7	<i>Evolución de nudos opuestos para cada tratamiento en diferentes momentos medidos en GDD</i>	42
Tabla 8	<i>Evolución de nudos alternos según grados días para cada tratamiento</i>	45

Tabla 9 <i>Índice de área foliar para cada tratamiento con desvíos, valores máximos y mínimos</i>	48
Tabla 10 <i>Prueba de Tukey para los valores promedio de peso por planta y por hectárea</i>	49
Tabla 11 <i>Matriz de correlación para cada parámetro evaluado</i>	50

Resumen

El cultivo de cannabis ha ganado relevancia en los últimos años, y Uruguay no ha sido ajeno a esta tendencia. La legalización y regulación de la producción y venta de cannabis con fines medicinales en el país, ha abierto nuevas oportunidades para su investigación y desarrollo. En el contexto del cultivo de cannabis, uno de los aspectos determinantes del rendimiento es la densidad de plantación. Este aspecto está siendo discutido en el sector debido a sus implicancias en la producción y en los costos. La densidad de la plantación afecta el desarrollo de la planta y modifica la evolución del índice de área foliar del cultivo. En dicho contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la densidad de siembra en el cultivo de cannabis para flor medicinal en la variedad Monlag. Se evaluaron cuatro densidades de siembra, a 0,3; 0,7; 1,1 y 1,5 metros entre plantas dentro del camellón de plantación. Se midieron las variables: altura, número de nudos de cada planta; el índice de área foliar, y el rendimiento mediante el peso fresco y seco de las flores por planta. Los resultados indicaron que la densidad de siembra tuvo efecto sobre la altura de la planta, y en cuanto a los rendimientos por planta son mayores en las plantas de mayor altura ya que estas tienen un mayor desarrollo. Sin embargo, en el rango de densidades evaluadas, los rendimientos por hectárea no se diferenciaron.

Palabras Clave: cannabis, flor medicinal, densidad de siembra, crecimiento, rendimiento, peso fresco, peso seco, índice de área foliar, altura de la planta, número de nudos

Summary

Cannabis cultivation has gained significance in recent years, and Uruguay has not been exempt from this trend. The legalization and regulation of cannabis production and sales for medicinal purposes in the country have opened new opportunities for research and development. In the context of cannabis cultivation, one crucial aspect affecting yield is the planting density. This aspect is currently being discussed in the industry due to its implications on production and costs. Planting density directly influences plant development and modifies the evolution of the crop's leaf area index. This study aims to assess the impact of planting density on the cultivation of medicinal cannabis, specifically focusing on the Monlag variety. Four planting densities were evaluated, with distances of 0.3, 0.7, 1.1, and 1.5 meters between plants within the planting row. The following variables were measured: height, number of nodes per plant, leaf area index, and yield determined by the fresh and dry weight of flowers per plant. The results indicated that planting density had an effect on plant height. Regarding yields per plant, higher yields were observed in taller plants due to their greater development. However, within the range of evaluated densities, yields per hectare did not show significant differences.

Keywords: cannabis, medicinal flower, planting density, growth, yield, fresh weight, dry weight, leaf area index, plant height, node number

1. Introducción

El cannabis es una planta que ha sido utilizada durante siglos por sus propiedades medicinales y terapéuticas. Los componentes activos de sus propiedades son los cannabinoides y se encuentran concentrados en la flor (Flemming & Clarke, 1998; Sengloung et al., 2009). El cultivo de cannabis para flor medicinal es una actividad cada vez más común en todo el mundo. Por lo tanto, existe un activo desarrollo de las diferentes tecnologías de producción. Cada sistema de producción debe adecuarse a las condiciones ambientales locales, así como a los requerimientos de los genotipos. Para ello, es necesario conocer el impacto de las diferentes medidas de manejo del cultivo sobre el rendimiento y la calidad (Eichhorn Bilodeau et al., 2019).

La densidad de siembra se refiere a la cantidad de plantas por unidad de área y, por lo tanto, tiene un impacto en el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las plantas de cannabis para flor medicinal. Diferentes densidades de siembra pueden producir diferentes efectos en el cultivo (Yang et al., 2014).

El presente trabajo fue realizado en Ciudad de la Costa, Canelones, Uruguay, en un cultivo a campo de cannabis, con fines comerciales para flor medicinal. El objetivo fue evaluar el efecto de cuatro densidades de siembra diferentes sobre el crecimiento, el índice de área foliar y el rendimiento por hectárea en el cultivar Monlag. Durante el desarrollo del cultivo, se midió el número de nudos y altura de cada planta; el índice de área foliar y el peso fresco y seco de las flores por parcela experimental.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo general*

El objetivo general de este trabajo es evaluar el efecto de la densidad de siembra en el crecimiento, índice de área foliar y rendimiento por hectárea del cultivo de cannabis para flor medicinal.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- 1) Evaluar el efecto de cuatro densidades de siembra en el crecimiento de las plantas de cannabis, midiendo el número de nudos y la altura de las plantas durante el ciclo del cultivo.
- 2) Evaluar el efecto de cuatro densidades de siembra sobre en el índice de área foliar.
- 3) Evaluar el efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento por hectárea del peso fresco y seco de flor en el cultivo de cannabis.

2. Revisión bibliográfica

2.1 Descripción de la especie

2.1.1 Origen y evolución

El cannabis es una planta perenne herbácea cuyo origen se remonta al 4000 a.C. Se postula que el cannabis tiene su origen en Asia Central y se ha extendido a través de todo el mundo debido a su versatilidad e interés como fuente de alimento, uso textil y medicinal, este último de importancia por su considerada producción de cannabinoides (Flemming & Clarke, 1998; Sengloung et al., 2009).

El cannabis pertenece a la familia Cannabaceae que consta según diferentes autores de tres especies: *Cannabis sativa* originaria de Europa y Eurasia central, *Cannabis indica* proveniente del este de Eurasia y *Cannabis ruderalis* originaria del centro sureste de Rusia (Vassilevska-Ivanova, 2019). Clarke y Merlin (2016) dividen la especie *Cannabis indica* en tres subespecies: *Cannabis indica subsp. afghanica*, *Cannabis indica subsp. indica*, *Cannabis indica subsp. Chinensis*.

La especie *Cannabis sativa* es conocida por sus flores largas y delgadas y sus hojas grandes. Esta especie se cultiva a menudo para obtener fibras textiles y alimentos. La especie *Cannabis indica* es conocida por sus flores más compactas y sus hojas más gruesas y anchas, cultivada para obtener aceite y medicamentos, su floración es más temprana que *C. sativa*. La especie *Cannabis ruderalis* contiene flores más pequeñas y hojas más gruesas utilizada para obtener aceite y medicamentos. Se caracteriza por su capacidad para adaptarse a condiciones climáticas extremas y su independencia al fotoperiodo (Clarke & Merlin, 2016; McPartland et al., 2000; Vassilevska-Ivanova, 2019).

Las diferentes subespecies de cannabis han evolucionado bajo la selección humana, mediante el aislamiento, la selección dirigida y la forzada endogamia. Este proceso llevado cabo ha tenido un impacto importante en la evolución del cannabis y ha generado cambios en su morfología, química y ecología. Esto hace que sea difícil determinar si existen poblaciones de cannabis que permanezcan inalteradas y sean consideradas "originarias". Aunque es posible que aún existan poblaciones de cannabis que hayan evolucionado de

manera menos influenciada y que sean más similares a las poblaciones originarias (Grotenhermen, 2003).

Actualmente, se han desarrollado variedades de cannabis con distintas respuestas al fotoperiodo, lo que se correlaciona con las zonas de producción, encontrando cultivares de floración temprana en climas templados y cultivares más tardíos en climas tropicales (Bazzaz et al., 1975; Clarke & Merlin, 2016). Otro manejo que se ha realizado es la técnica de feminización mediante el uso de hormonas para crear plantas de cannabis exclusivamente femeninas, lo que es útil para el cultivo de cannabis para flor medicinal, ya que permite tener un cultivo sin producción de semillas (Chandra et al., 2017; Jin et al., 2020).

2.1.2 Ciclo y fenología

El cannabis es una especie dioica con ciclo de vida anual. Se desarrolla mejor en épocas cálidas, relativamente frescas y húmedas, culminando su ciclo de vida con la llegada de bajas temperaturas y heladas. (Chandra et al., 2017; Leme et al., 2020). El cultivo presenta un tallo principal recto, hueco y ramificaciones secundarias de menor tamaño. En condiciones ideales, pueden crecer hasta 11 cm por día, y crecimientos promedio de 2 cm por día (Cherniak, 1982; Clarke & Merlin, 2013).

El ciclo fenológico del cultivo consta de tres etapas. La primera es la germinación, que depende de la temperatura y tiene una duración de tres a siete días. La temperatura óptima para la germinación es de 24°C. La segunda etapa es el estado vegetativo, donde se da un crecimiento vigoroso favorecido en condiciones de Día Largo (Amaducci et al., 2008; Clarke & Merlin, 2016). En la última etapa, cuando la duración de los días comienza a disminuir, se produce el cambio en la disposición de las hojas, es decir, su filotaxis pasa de opuestas a alternas. Este cambio indica el pasaje de estado vegetativo al estado reproductivo y se da la inducción floral (Van der Werf et al., 1994). El ciclo total del cultivo presenta una duración de 4 a 6 meses (Clarke & Merlin, 2013) y en zonas templadas puede llegar a 7 meses (Chandra et al., 2017; Small, 2015).

2.1.3 **Cannabinoides**

La especie ha sido cultivada con diversos usos; el uso medicinal, terapéutico y recreativo está asociado al contenido de cannabinoides en los tricomas de sus hojas y flores. Los cannabinoides son un grupo de compuestos químicos presentes en la planta del cannabis, y se estima que existen alrededor de 545 cannabinoides diferentes que se concentran en los apéndices epidérmicos conocidos como tricomas glandulares (Eichhorn Bilodeau et al., 2019). Los tricomas glandulares son estructuras microscópicas que se encuentran en la planta de cannabis y contienen la mayor cantidad de cannabinoides. Las flores femeninas de la planta de cannabis tienen un mayor contenido de tricomas glandulares y, por lo tanto, contienen una mayor cantidad de cannabinoides que las flores masculinas, lo que explica por qué se utilizan principalmente para la producción de productos de cannabis (Livingston et al., 2020; Pacífico et al., 2008).

Entre los cannabinoides más conocidos se encuentran el delta-9-tetrahidrocannabinol (THC) y el cannabidiol (CBD). El THC es el principal cannabinoide psicoactivo de la planta del cannabis y es responsable de los efectos psicológicos que se asocian con el consumo de cannabis, mientras que el CBD es un cannabinoide no psicoactivo que ha demostrado que tiene propiedades medicinales y puede ser beneficioso para una variedad de trastornos y enfermedades (Livingston et al., 2020; Pacífico et al., 2008).

Además del THC y el CBD, existen otros cannabinoides menos conocidos que se han estudiado por sus posibles efectos terapéuticos. Por ejemplo, el cannabigerol (CBG) tiene propiedades antibacterianas y puede tener efectos antiinflamatorios, mientras que el cannabinoide ácido tetrahidrocannabinólico (THCA) se ha estudiado por su capacidad para reducir la inflamación y el dolor. Los cannabinoides ejercen sus efectos a través del sistema endocannabinoide, que es un sistema de señalización celular endógeno que se compone de dos tipos de receptores, CB1 y CB2, y sus ligandos endógenos, los endocannabinoides. El sistema endocannabinoide tiene una amplia variedad de funciones en el cuerpo humano, incluyendo la regulación del dolor, la inflamación, la memoria y el apetito, entre otros (Pacher et al., 2006).

Además de los usos mencionados, se ha investigado que cumplen funciones defensivas frente al estrés biótico (insectos, bacterias y hongos) y

abióticos (deseccación y radiación ultravioleta) en las plantas. Por esta razón se cree que tienen potencial para su uso como pesticida natural, aditivos alimentarios, fragancias y productos farmacéuticos (Thomas & Elsohly, 2015).

2.2 Producción mundial

Debido al uso recreativo del cannabis, la producción está sujeta a diferentes regulaciones y limitaciones en cada país. Sin embargo, en los últimos tiempos, el estatus legal de la producción ha estado cambiando, lo que ha llevado a un mercado en rápida expansión tanto en América como en Europa (Eichhorn Bilodeau et al., 2019).

En 2018, la Organización Mundial de la Salud promovió la habilitación de producción de cannabis medicinal debido a su efectividad en diferentes tratamientos (Uruguay XXI, 2023). Ese mismo año, en los Estados Unidos se aprobó la Farm Bill que permitió el uso medicinal del cannabis en muchos estados de ese país, en aquellos casos que el material tuviera menos 0,3% de THC (Eichhorn Bilodeau et al., 2019; Seddon & Floodgate, 2020; Uruguay XXI, 2020). Actualmente, solo Uruguay y Canadá tienen una infraestructura legal completa para el cultivo, distribución y venta de cannabis para uso médico y recreativo. Sin embargo, en los últimos años, muchos otros países han legalizado el uso medicinal del cannabis y se espera que este avance continúe en el futuro. (Eichhorn Bilodeau et al., 2019; Seddon & Floodgate, 2020; Uruguay XXI, 2023).

Según el informe de la United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC, 2022), el cultivo de cannabis es ampliamente extendido y se produce ilegalmente en todas las regiones del mundo. Durante el período 2016-2020, un total de 66 países reportaron la producción de cannabis en invernaderos y 98 países informaron la producción al aire libre, con un aumento notable en los últimos años. Siendo el cannabis la droga más consumida a nivel mundial, y en la actualidad, 64 países permiten el uso médico de productos con cannabis. En 2019, se registró una producción mundial de 468,3 toneladas de cannabis, y en 2020 se reportó una producción de 650,8 toneladas (UNODC, 2022).

Reino Unido y Canadá son los mayores productores de cannabis a nivel mundial, con participación del 36,7% y el 35% de la producción mundial, respectivamente. Otros países importantes productores de cannabis incluyen Estados Unidos, México y Holanda. Uruguay representa el 1,1% de la producción mundial de cannabis. Sin embargo, en 2021, el Reino Unido aumentó significativamente su producción al 43%, manteniendo su posición dominante. Italia contribuyó con un 19.7% en 2021 (International Narcotics Control Board [INCB], 2021; UNODC, 2022).

De acuerdo con datos de INCB (2021, 2022), Canadá fue el principal exportador de cannabis en el mundo en 2020, con una participación del 74,5% en el mercado mundial. Portugal representó el 6,2% de las exportaciones mundiales de cannabis, seguido de Lesoto (5,1%), los Estados Unidos (4,4%), los Países Bajos (3%), Uruguay (2,4%) y Alemania (0,8%). En 2021, el Reino Unido ingresó a la lista de los principales exportadores con un 58.4%, mientras que Israel también se destacó con un 11.3%.

2.3 Producción nacional

2.3.1 *Marco legal*

En diciembre de 2013, Uruguay se convirtió en el primer país en regular legalmente el mercado del cannabis, desde su cultivo hasta su venta mediante la ley n° 19.172. Esta ley estableció un marco regulatorio para el cultivo, producción, distribución y consumo de cannabis para uso recreativo y creó el Instituto de Regulación y Control del Cannabis (IRCCA) para regular y controlar la producción de cannabis en el país. Además, se implementó un sistema de licencias para el cultivo y la producción de cannabis, así como un sistema de registro para los consumidores (Seddon & Floodgate, 2020; Uruguay XXI, 2023).

En 2015, el decreto n° 46/015 promovió el uso medicinal e investigaciones científicas del cannabis psicoactivo y no psicoactivo en Uruguay, estableciendo que el Ministerio de Salud Pública (MSP) debía habilitar la elaboración de especialidades vegetales y farmacéuticas de cannabis, y regular el uso medicinal del cannabis en el país. La ley n° 19.172 y el decreto n° 46/015 establecieron un

marco regulatorio para el uso y la producción de cannabis, permitiendo la creación de un mercado legal en el país (Uruguay XXI, 2020).

En 2016, el decreto n° 403/2016 definió diferentes categorías de productos a base de cannabis, incluyendo hierbas medicinales, especialidades vegetales y productos fitoterápicos. Además, en 2019 se promulgaron las leyes n° 19.845 y n° 19.847, que declararon de interés público la investigación sobre el cannabis y sus aplicaciones en todas las áreas del conocimiento. Esta Ley estableció un marco regulatorio para la investigación científica y el uso medicinal del cannabis en Uruguay. Incentivando también, el desarrollo de nuevas aplicaciones terapéuticas del cannabis en el país (Uruguay XXI, 2020).

En 2019 se registraron las primeras exportaciones vinculadas al sector, incluyendo biomasa de cáñamo y medicamentos basados en cannabis, aunque en volúmenes relativamente bajos (Uruguay XXI, 2020). Uruguay ha adquirido amplia experiencia en la regulación y control del mercado del cannabis, y tiene la oportunidad de posicionarse como líder en la trazabilidad del cannabis a nivel internacional. En 2020 una empresa privada crea una plataforma que permite el seguimiento completo de la cadena de producción, con el objetivo de garantizar la calidad y seguridad de los productos, proteger a los consumidores de productos de baja calidad o peligrosos, y promover la transparencia y la confianza en el mercado del cannabis (Empresas del Uruguay, 2020; Uruguay XXI, 2020). En febrero de 2023, se emitió el decreto n° 56/023, que permite la producción y comercialización de productos derivados del cannabis mediante fórmulas magistrales. Este decreto establece un marco regulatorio destinado a asegurar la calidad y seguridad de dichos productos (Uruguay XXI, 2023).

2.3.2 *Sistemas de producción en Uruguay*

Uruguay cuenta con diversos sistemas de producción de cannabis, que incluyen el cultivo en invernaderos (indoor) y en exteriores (outdoor). Según datos del anuario 2022 (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2022), el país cuenta con un total de 537 hectáreas destinadas a la producción de cannabis, de las cuales un 95,5% se producen a campo y un 4,5% bajo protección en invernaderos, en algunos casos con iluminación LED permitiendo tres o cuatro cosechas anuales.

La producción de cannabis está distribuida en distintas zonas de Uruguay, abarcando 14 de los 19 departamentos, aunque se concentra principalmente en el sur y litoral del territorio. El sector emplea 900 personas de manera directa, cifra que aumenta durante la zafra, y cuenta con más de 100 empresas vinculadas al sector. La mayoría de la producción, el 90% según datos del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (Pizzanelli, 2022), se destina a la comercialización de flores hembra no fecundadas o fecundadas con fines de producción de resinas fenólicas y/o cannabinoides para exportación. En cuanto a la exportación de cannabis en términos económicos en el 2022 sufrió una caída del 35% con respecto al año anterior, explicado por una baja de precios del cannabis no psicoactivo (Uruguay XXI, 2023).

En el periodo analizado (2014-2022) se observa un incremento en la superficie de cultivo en invernáculo, lo que demuestra la adopción de prácticas más controladas y tecnológicas. En cuanto a la superficie cultivada a cielo abierto hubo un aumento hasta el periodo 2019-2020, luego la superficie de cultivo a campo comenzó a descender, lo que provocó una disminución del total de la superficie plantada en el periodo 2020-2022 en relación con el periodo 2018-2020 (Tabla 1).

En cuanto a las licencias otorgadas ha aumentado progresivamente, lo que indica un mayor interés y participación de los productores en la industria del cannabis en Uruguay (Tabla 1). Estas licencias son necesarias para garantizar el cumplimiento de los requisitos legales y normativos con la producción y comercialización de cannabis reguladas por IRCCA (DIEA, 2022; Uruguay XXI, 2023).

Tabla 1*Datos de superficie y número de licencias desde 2014 a 2022 en Uruguay*

Año	Cielo abierto (ha)	Invernáculo (m2)	N° Licencias
2014/15	20	0	2
2015/16	380	1.200	3
2016/17	480	4.000	5
2017/18	410	8.630	14
2018/19	1.330	38.500	39
2019/20	1.350	40.000	42
2020/21	580	120.000	80
2021/22	513	239.782	167

Nota. Elaborado a partir de DIEA (2022).**2.3.3 Materiales genéticos utilizados en el Uruguay**

En Uruguay, hasta la fecha actual, hay un total de 15 cultivares registrados como Cannabis psicoactivos, mientras que otros 5 se encuentran en proceso de inscripción (Tabla 2) y 90 cultivares registrados como Cáñamo. Estos cultivares tienen diferentes orígenes, provenientes de Uruguay, Canadá, Colombia, Países Bajos y Estados Unidos. En cuanto a la variedad Monlag permaneció en el registro del Instituto Nacional de Semillas (INASE) hasta el año 2022 (INASE, s.f.).

Tabla 2*Cultivares con su origen y estructura genética registrado en INASE*

Cultivar	Situación actual RNC	Origen	Estructura genética
ALFA IRCCA	No inscripto	Uruguay	Variedad
BETA IRCCA	No inscripto	Uruguay	Variedad
CÉSAR DÍAZ	No inscripto	Uruguay	Variedad
GAMMA IRCCA	No inscripto	Uruguay	Variedad
ÉPSILON IRCCA	No inscripto	Uruguay	Variedad
GRX53	Inscripto	Holanda - Países Bajos	Variedad
ICER	Inscripto	Canadá	Variedad
GRIMM GLUE	Inscripto	Canadá	Variedad
DUTCH HINDU KUSH	Inscripto	Canadá	Variedad
NORCAL DO-SI-DOS	Inscripto	Canadá	Variedad
SUBLIMATOR	Inscripto	Canadá	Variedad
HARYBO	Inscripto	Canadá	Variedad
CO_MEDICAL1	Inscripto	Colombia	Híbrido
CO_MEDICAL6	Inscripto	Colombia	Híbrido
MAGDA	Inscripto	España	Híbrido
BEATRIZ	Inscripto	España	Híbrido
MONIEK	Inscripto	España	Híbrido
ICE CREAM BREATH	Inscripto	EEUU	Híbrido
PUNCHLATO	Inscripto	EEUU	Híbrido
GLUE BREATH	Inscripto	EEUU	Híbrido

Nota. Elaborado en base a información obtenida a partir del filtro “Cannabis Psicoactivo” en la primera columna de INASE (s.f.).

Durante el proceso de registro de cultivares, se requiere el cumplimiento de estándares específicos establecidos para garantizar su calidad y conformidad. Estos estándares son responsabilidad del área de Certificación de Semillas y Plantas (CSP), quienes se encargan de asegurar que los cultivares cumplan con los requisitos establecidos. La ejecución y control de estos estándares están a cargo tanto del área de CSP como del área de Control de Comercio (CC), quienes garantizan el cumplimiento de los requisitos durante todo el proceso (INASE, s.f.).

Por otra parte, el área de Evaluación y Registro de Cultivares (ERC) tiene la responsabilidad de llevar a cabo el registro y la protección de los cultivares. Su función principal es evaluar y verificar que los cultivares cumplan con los criterios establecidos para ser reconocidos oficialmente. Las semillas son clasificadas en diferentes categorías según origen del material y valores de parámetros obtenidos

en la evaluación, la Categoría Comercial A es obtenida de la multiplicación de semillas certificadas y cuenta con parámetros de campo y laboratorio y la comercial B solo con parámetros de laboratorio (ANEXO A) (INASE, s.f.).

En cuanto a la variedad Monlag se caracteriza por ser una planta vigorosa que puede alcanzar alturas superiores a los 2 metros. Sus brotes son densos y poseen un perfil de terpenos con un distintivo aroma a limón. Según la empresa comercializadora, se recomienda una densidad de siembra entre 6500 y 7500 plantas por hectárea, lo cual ha demostrado proporcionar un rendimiento promedio de flores de 500 gramos por planta (P. Milesi, comunicación personal, 15 de junio, 2021).

En términos de composición química, se destaca un contenido de CBD del 13% y un nivel de THC del 0,3%. En cuanto al ciclo de vida de esta variedad, se estima una duración del ciclo de aproximadamente 5 meses, con un período de floración que oscila entre 5 y 7 semanas. La fecha recomendada para la cosecha es de aproximadamente 5 semanas después de que la planta haya alcanzado su plena floración (P. Milesi, comunicación personal, 15 de junio, 2021).

2.4 Rendimiento: Factores y componentes de cultivo a campo

El rendimiento del cultivo depende de varios factores, como la genética, la densidad de siembra, la fecha de siembra, la intercepción de luz y el manejo del cultivo (fertilización, riego, poda). Algunos de estos factores se pueden controlar y ajustar para maximizar el rendimiento del cultivo. En el caso del cannabis, los rendimientos son muy heterogéneos y dependen de los factores mencionados asociados a diversidad de sistemas de producción (Backer et al., 2019; Deng et al., 2019).

2.4.1 Genética

La genética determina, la forma de la planta, el tipo de flores, la densidad de tricomas y la resistencia de enfermedades. Debe seleccionarse una variedad adecuada para el clima y el suelo de la región donde se cultiva y el fin del cultivo (Booth & Bohlmann, 2019). Los cultivares de cannabis propagados a partir de semillas son seleccionados para obtener un mayor rendimiento de flores, lo que

se traduce en una mayor ramificación de los tallos con entrenudos más cortos (Clarke & Merlin, 2016).

La selección artificial en el cannabis se ha centrado principalmente en las plantas femeninas, lo que ha tenido un impacto significativo en la evolución de estas durante el proceso de domesticación. Tanto el aumento de rendimiento de las semillas como de las glándulas de resina dependen de una mayor producción de flores femeninas. Los cultivares seleccionados para comercialización de flores presentan inflorescencias más grandes que contienen más flores en comparación con los cultivares de fibra. Además, inflorescencias femeninas de mayor tamaño proporcionan una mayor superficie para la producción de tricomas glandulares productores de cannabinoides (Clarke & Merlin, 2016; Sawler et al., 2015). Diferentes estudios han demostrado que mismos manejos de cultivo, pero diferentes variedades muestran variaciones en el rendimiento (Bolaños Herrera et al., 2022; García Tejero et al., 2014, 2019; Yang et al., 2020).

2.4.2 **Ambiente**

2.4.2.1 **Luz y fotoperiodo.**

La cantidad, calidad y duración de la luz que recibe una planta de cannabis tiene un impacto significativo en su desarrollo. Las plantas necesitan una cantidad determinada de luz para crecer y florecer adecuadamente. Si bien la fuente ideal es la luz natural, en situaciones de cultivo en interiores se pueden utilizar luces LED para proporcionar la cantidad de luz necesaria (Bian et al., 2015; Meijer et al., 1995).

En los primeros estadios de crecimiento, la fotosíntesis está directamente relacionada con la cantidad de luz interceptada y utilizada principalmente para la acumulación de materia seca en las hojas. Posteriormente, durante el mes siguiente, se utiliza para engrosar el tallo. Una vez que el crecimiento del tallo cesa, la inflorescencia comienza a acumular toda la materia, siendo la principal fosa (Meijer et al., 1995).

Además de depender de la radiación solar capturada por el área foliar para hacer fotosíntesis, esta especie también es capaz de medir las modificaciones en las horas de luz diarias. Es una especie foto periódicamente dependiente para iniciar su fase reproductiva, los cultivares con fines medicinales requieren

fotoperiodo de Día Corto para florecer (Spitzer-Rimon et al., 2019). Los días más cortos son la señal que el cultivo necesita para cambiar de fase. En nuestras condiciones eso ocurre a partir del 21 de diciembre, el día más largo del año en nuestra latitud, que alcanzó las 14 horas y 29 minutos en 2020. Este requerimiento ambiental afecta la duración de las etapas vegetativa y reproductiva y por lo tanto debe ser tenida en cuenta para evaluar las fechas de plantación de los diferentes materiales genéticos disponibles (Maplogs, 2020).

Estudio realizado en 2021 en Uruguay (Barlocco Amorin et al., 2021), mostró que plantaciones tardías a campo trasplantadas en enero determinan una fase vegetativa muy reducida, condicionando el desarrollo de la planta y el potencial del rendimiento. El ciclo con el fotoperiodo normal a campo tuvo una duración de 73 días y el tratamiento con interrupción de la noche con luz (con focos de sodio), lo que hace que la planta capte noches cortas y por tanto infiera días largos, logró extender la fase vegetativa y retrasar la reproductiva, con un ciclo total de 118 días. En los tratamientos con interrupción de la noche se obtuvieron plantas de mayor tamaño con más de 13 cm de diferencia respecto de las plantas sin interrupción de la noche, obteniendo valores de 64 cm de altura promedio en situación de macro túneles con luz artificial y de 51 cm a campo sin luz artificial. Este trabajo también midió el número de nudos, sin afectarse el número de nudos opuestos por los tratamientos (entre 6 y 8 nudos por planta). Sin embargo, el número de nudos alternos sí fue afectado, presentando más números de nudos alternos las plantas que crecieron con interrupción de la noche que tuvieron un ciclo más largo (13 vs 21 número de nudos alternos respectivamente). Los rendimientos alcanzados fueron entre 0,13 y 0,17 kg.pl-1 siendo similares entre tratamientos (Barlocco Amorin et al., 2021). Trabajo realizado por Burgel et al. (2020) obtuvo valores de nudos totales entre 18 y 20.

2.4.2.2 Temperatura

La temperatura es un factor importante que puede afectar significativamente el rendimiento del cannabis medicinal. La planta de cannabis es sensible a los cambios de temperatura, y si las temperaturas son demasiado altas o bajas, pueden afectar negativamente el crecimiento y la producción de inflorescencias. Las altas temperaturas impactan en el gasto energético de las

plantas, ya que necesitan utilizar recursos para enfriarse a través de la adquisición y transpiración de agua por medio de las estomas (Upton et al., 2013). Un estudio realizado por Chandra et al. (2013) analizó la fotosíntesis neta en siete variedades de cannabis, concluyendo que las temperaturas óptimas para el crecimiento variaban entre 25°C y 30°C.

Mediante el registro de las temperaturas existentes durante el cultivo se pueden cuantificar los Grados Día (GD) los cuales son una herramienta útil para evaluar y comparar el desarrollo de las plantas en diferentes condiciones climáticas. Los GD se calculan restando la temperatura base, que es la temperatura mínima requerida para el crecimiento de la planta, a la temperatura media diaria. Esta medida permite estimar el tiempo que tardará una planta en alcanzar una determinada etapa de desarrollo, lo que puede ser de gran ayuda para la toma de decisiones en la producción agrícola (Yang et al., 1995). Amaducci et al. (2008) considera que la temperatura base del cultivo de cannabis es de 11,3°C. Según Reichel et al. (2021) para cultivos de fibra se reportan requerimientos entre 1900–2000 GDD desde la germinación hasta la madurez y las plantas de semilla de cáñamo requieren 2700–3000 GDD hasta la madurez de la semilla, utilizando 8°C como temperatura base.

2.4.2.3 Humedad

La humedad influye en la sanidad y el rendimiento de la planta. Un estudio publicado por Frank (1988), encontró que con baja humedad relativa del aire, generando que la planta no pueda absorber el agua lo suficientemente rápido, por ende los estomas se cierran, lo que relentece la tasa de transpiración y el crecimiento del cultivo, siendo las primeras etapas de crecimiento más susceptibles. Por otro lado, Clark y Merlin (2016) demostró que los bajos niveles de humedad pueden hacer que la planta se seque y reducir su capacidad para absorber los nutrientes necesarios para el crecimiento y la producción de flores.

Los altos niveles de humedad pueden aumentar el riesgo de infección por hongos, lo que puede dañar la planta y reducir su producción. Un trabajo realizado por Rousserie y Collazo (2022) mostró que las enfermedades con mayor incidencia en diferentes predios de Uruguay fue la pudrición de inflorescencias asociada a *Botrytis cinerea*, seguido de la pudrición de inflorescencias asociada a

Fusarium sp., ambas enfermedades requieren de condiciones de alta humedad para su aparición. Se considera que los niveles de humedad por encima del 70% y niveles de humedad relativa por debajo del 40% afectan negativamente el crecimiento del cultivo (Frank, 1988).

2.4.3 **Manejo**

2.4.3.1 **Densidad de siembra**

La densidad de siembra es uno de los factores más importantes que influye en el rendimiento del cultivo. Esta se refiere a la cantidad de plantas que se cultivan por unidad de superficie generalmente expresada como plantas por metro cuadrado. La densidad de siembra adecuada depende de varios factores, como el cultivar, las condiciones ambientales, el sistema de cultivo y el objetivo del cultivo. La densidad de siembra afecta el microclima en el dosel, afectando la disponibilidad de luz del cultivo, temperatura y humedad (Fassio et al., 2013; Yang et al., 2014).

Si la densidad de siembra es demasiado alta, las plantas pueden competir por los recursos, lo que puede llevar a una menor producción de flores y menor calidad de las mismas. Por otro lado, si la densidad de siembra es demasiado baja, se pueden desperdiciar recursos y limitar el rendimiento (Clarke & Merlin, 2016; Danziger & Bernstein, 2022). En cuanto a la altura una densidad de siembra baja favorece una mayor ramificación y un mayor peso individual en comparación con los cultivos sembrados a una densidad más alta. Esta última opción, en cambio, inhibe la ramificación, llevando a plantas individuales más altas (Hall et al., 2014; Campiglia et al., 2017). En un estudio realizado por Linder et al. (2022), se evaluaron densidades de siembra de 0,91, 1,22, 1,52 y 1,83 metros entre plantas, lo que resultó en densidades de plantas por hectárea de 17.176, 5.382, 4.306 y 3.588, respectivamente. El estudio concluyó que los espaciamientos más amplios requieren más tiempo para alcanzar su máxima tasa de crecimiento. Sin embargo en contraste con los autores anteriores en cuanto a la altura de las plantas, el tratamiento con un espaciado de 0,91 metros entre plantas resultó en la altura más baja, mientras que no se observaron diferencias significativas en la altura entre los otros tratamientos.

Una alta densidad de siembra puede afectar la intercepción de luz del cultivo, el cual se mide mediante el Índice de Área Foliar (IAF), éste es una medida del área de superficie de las hojas en relación con la superficie total del suelo (Chandra et al., 2017). Cuando los cultivos están sanos y el agua y los nutrientes no son limitantes, la producción de materia seca es proporcional a la cantidad de luz interceptada por el dosel del cultivo (Monteith & Moss, 1977).

La productividad del cultivo aumenta con el IAF hasta alcanzar un punto óptimo. Sin embargo, valores por encima de este punto reducen la productividad debido al alto costo energético de la respiración y a la ineficiente utilización de la luz por parte de las hojas inferiores sombreadas. Además, en condiciones de baja intensidad luminosa, los valores del IAF son más bajos debido al rápido deterioro y muerte de las hojas inferiores (Barraza et al., 2004). El IAF en el cannabis puede variar según la variedad de la planta y las condiciones de crecimiento. Según Kakabouki et al. (2021) el IAF promedio a los 90 días para un cultivo a campo sin luz artificial cultivado en Grecia fue de 3,76-3,93. Según Tang et al. (2017) en un ensayo realizado en Italia el IAF promedio obtenido fue de 2,3. Los valores de IAF obtenidos en Uruguay para dos cultivos a campo fueron 2,78 y 3,47 respectivamente (Barlocco Amarin et al., 2021).

Para cuantificar el IAF se utiliza la Ley -Lambert que contempla la relación entre la luz incidente (I_0), la luz transmitida (I) y el índice de área foliar (L) y coeficiente de extinción (K) que depende de la dirección del haz y la distribución del ángulo de la hoja (Mourad et al., 2020).

$$I = I_0 \times \exp(-K \cdot L)$$

A continuación, se presenta la tabla 3 con diferentes densidades de siembras y sus correspondientes rendimientos de cultivos de Cannabis a campo en diferentes zonas de producción, se consideró que el peso de las flores corresponde a 2/3 del peso total de las hojas y la flor (Tabla 3) (Pertwee, 2014).

Tabla 3

Peso seco de flor (kg/ha) en diferentes densidades de siembra y variedades

Densidad pl/ha	Rendimiento ps kg de flor/ha	Variedad	Referencia	
10000	266,67	Ermes	<i>España, García Tejero et al. (2014)</i>	
	1600	Carma		
20000	700	Ermes		
	2300	Carma		
40000	933	Ermes		
	3133	Carma		
11111	313	Ermes		<i>España, García Tejero et al. (2019)</i>
	1620	Carma		
16667	680	Ermes		
	2320	Carma		
33333	940	Ermes		
	3140	Carma		
3600	3090	Cherry Blossom	<i>Estados Unidos, Yang et al. (2020)</i>	
	2664	Cherry Wine		
5000	1726	Apricot	Costa Rica, Bolaños Herrera et al. (2022)	
	570	GCO CBG17		
3333	433	CW2a	Uruguay, Barlocco Amarin et al. (2021)	
	566,61	CW2a (luz indirecta)		

2.4.3.2 Fertilización

El manejo de los nutrientes es uno de los factores que afecta el rendimiento en el cultivo de cannabis, el uso de una fertilización con una adecuada proporción de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes influye en el crecimiento óptimo y la producción de flores de alta calidad. Investigaciones señalan que para el potasio (K), aportes entre 60-175 mg l⁻¹ son óptimos durante la fase de crecimiento vegetativo, dependiendo del genotipo (Saloner et al., 2019). En cuanto a los requerimientos de fósforo (P) se recomienda un aporte mínimo de 15 mg L⁻¹ de P y una aplicación óptima de 30 mg L⁻¹ (Shiponi & Bernstein, 2021). En cuanto al nitrógeno el aporte varía dependiendo los fines del material a comercializar ya que es capaz de regular el rendimiento y los perfiles de cannabinoides y terpenoides. Tomando ambas como objetivo, el aporte óptimo de nitrógeno es de 160 mg L⁻¹. (Saloner & Bernstein, 2021). En cuanto a los

micronutrientes, soluciones que contienen 1,7 Fe³⁺, 1,1 Mn²⁺ y 0,33 Zn²⁺ mg·L⁻¹ no mostraron deficiencias (Saloner et al., 2019). En caso de cultivos en suelo es de importancia determinar los aportes de éste para evitar acumulación, contaminación ambiental, deterioro del suelo y excesivo gasto económico (Deng et al., 2019).

2.4.3.3 Riego

El manejo correcto de los requerimientos hídricos es otro factor de importancia. Durante el ciclo de crecimiento, el cannabis necesita aproximadamente entre 250 y 400 mm de agua, incluyendo la humedad disponible en el suelo. La cantidad de agua y la frecuencia de riego pueden variar según la etapa de crecimiento, el tamaño de las plantas y los recipientes, la temperatura y la humedad ambiental, entre otros factores. La demanda de agua es especialmente alta durante la etapa de máximo crecimiento, que abarca desde la aparición del quinto par de hojas hasta el inicio de la floración. Para lograr rendimientos óptimos, es importante que el suelo esté bien drenado para evitar problemas relacionados con el exceso de agua. El cannabis medicinal es altamente sensible a la sequía, especialmente en las primeras etapas del ciclo de cultivo, hasta que las plantas estén bien establecidas y desarrollen un sistema radicular robusto (Fassio et al., 2013; Merfield, 1999). Durante la etapa juvenil del cannabis, como esquejes o plántulas, se necesita una alta humedad y se recomienda rociar regularmente agua sobre las hojas para mantener un microclima húmedo hasta que las plantas estén bien enraizadas. Una vez que las plantas están establecidas, se debe permitir que la capa superior del suelo se seque antes de volver a regarlas. Se recomienda mantener una humedad de alrededor del 75% durante la etapa juvenil y entre el 55% y 60% durante las etapas vegetativa y de floración (Chandra et al., 2017, Fassio et al., 2013).

2.4.3.4 Fecha de siembra

Aunque existe una escasez de investigaciones sobre el efecto de la fecha de siembra en el cannabis para flor, un estudio realizado por Linder et al. (2022) demostró que las fechas de trasplante más tempranas dieron como resultado plantas más altas y anchas. Los valores obtenidos de altura para las primeras fechas de trasplante fueron entre 105-100 cm de altura con una tasa máxima de crecimiento entre 11,2 - 15,05 cm.día⁻¹, mientras que en las fechas más tardías (aproximadamente 2 meses de diferencia) los resultados de altura obtenidos fueron entre 80-95 cm, con una tasa máxima de crecimiento entre 9,15-10,78 cm.día⁻¹. La duración del ciclo del cultivo fue de 146-174 días. Reichel et al. (2021) reporta crecimientos en altura en cultivares de cannabis para flor medicinal hasta 1000 GDD, con alturas entre 1,36 m y 0,66 m. Estos estudios hacen énfasis en la importancia de realizar un trasplante más temprano para maximizar los rendimientos.

Otro estudio demostró que fechas de plantación muy tardías, pueden no tener suficiente tiempo para desarrollar la floración de manera adecuada y producir un rendimiento insuficiente (Da Silva Benevenuto et al., 2022). Este tipo de respuestas se han reportado para cultivos en el Uruguay donde plantaciones tardías (enero) junto a técnicas de retraso en la entrada en la fase reproductiva condicionó la calidad de la floración, ya que estos no cumplieron su desarrollo debido a la baja en las temperaturas entrado el otoño (Barlocco Amorin et al., 2021).

2.4.3.5 Poda

Otro factor importante en el manejo del cultivo de cannabis es la aplicación de técnicas de poda, este se refiere a la eliminación de ramas, hojas y meristemas apicales de la planta con el objetivo de modificar la estructura, la distribución de su biomasa y la producción de inflorescencias y cannabinoides y mejorar la circulación de aire y la penetración de la luz en el cultivo (Danziger & Bernstein, 2021). Al eliminar el meristemo apical, se altera el equilibrio hormonal (como la auxina y la citoquinina) en la planta, lo que estimula el desarrollo de brotes laterales al reducir la dominancia apical afectando la arquitectura de la planta y el microclima que se genera dentro del cultivo (Ambroszczyk et al., 2008, Kebrom,

2017). En un estudio llevado a cabo por Crispim Massuela et al. (2022) se demostró que la poda apical aumenta el peso seco de inflorescencia y hojas con relación al cultivo sin podar.

2.4.3.6 Manejos poscosecha

Además del manejo del cultivo, también es importante tener en cuenta los manejos poscosecha para maximizar el rendimiento de la producción de cannabis medicinal. Uno de los factores a tener en cuenta en el manejo poscosecha es el tiempo de cosecha, ya que, si se cosecha demasiado pronto o demasiado tarde, puede haber una disminución en el rendimiento y en la calidad de los cannabinoides producidos (Andre et al., 2016). Cuando las flores del Cannabis están maduras, es el momento óptimo para llevar a cabo la cosecha (Jin et al., 2019). Por lo tanto, se debe realizar un monitoreo diario del cultivo y seleccionar las inflorescencias que se encuentran prontas para cosechar, lo que puede requerir múltiples pasadas para asegurar una cosecha de alta calidad (Rosenthal, 2010). Otro factor importante es la manipulación de las flores después de la cosecha. Un manejo inadecuado como un trimeado excesivo puede causar daños en los tricomas, lo que puede reducir la calidad de los cannabinoides y terpenos producidos, disminuyendo así el rendimiento (Chandra et al., 2017).

Para asegurar una adecuada poscosecha, se debe llevar a cabo el secado de las inflorescencias, considerando que contienen aproximadamente un 80% de agua, el contenido de agua residual luego del secado es de aproximadamente 8-13% (UNODC, 2009). Este proceso de secado controla la actividad microbiana y la posibilidad de almacenamiento a largo plazo sin comprometer el sabor y las propiedades medicinales del producto. Para el secado con aire caliente los materiales vegetales se cuelgan boca abajo en cuerdas, jaulas de alambre o alambres estáticos para permitir la circulación del aire y el secado uniforme. Se recomiendan que en el lugar de secado haya una temperatura entre 18–21 °C, y una humedad relativa del 50–55 % y una correcta circulación de aire mediante un ventilador. Las flores recortadas tardan solo 4 o 5 días, pero la planta entera tarda hasta 14 días (Al Ubeed et al., 2022).

3. Materiales y métodos

3.1 Descripción del área

El estudio se llevó a cabo en una parcela experimental ubicada en el departamento de Canelones, en la Ciudad de la Costa, sobre el Camino de la Reducción. Las pruebas comenzaron en noviembre de 2020 y concluyeron con la cosecha el 6 de abril de 2021.

La parcela experimental se encuentra ubicada en la serie Rincón de Pando, la cual está compuesta por suelos profundos con una conductividad hidráulica en flujo saturado estimada como baja y un escurrimiento superficial estimado como medio a bajo. Estos suelos se desarrollaron a partir de sedimentos arcillo-limosos de la Formación Libertad, depositados sobre sedimentos de la Formación Dolores. El relieve de la zona está caracterizado por valles planos costeros con lomadas suaves convexas. La temperatura media anual en la zona es de 16.8°C y la precipitación media anual acumulada es de 1170.5 mm. Los suelos presentan un perfil A (0-20) E (20-30) Bt (30-60) BCn (60-90) Ck (90 + cm) (Dirección General de Recursos Naturales, s.f.).

3.2 Diseño experimental

Se realizó un diseño en bloques completamente al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones (bloques) (Figura1). La parcela experimental consta de 8 plantas distanciadas según densidad especificada en Tabla 4. Los tratamientos se asignaron de manera aleatoria a cada una de las repeticiones.

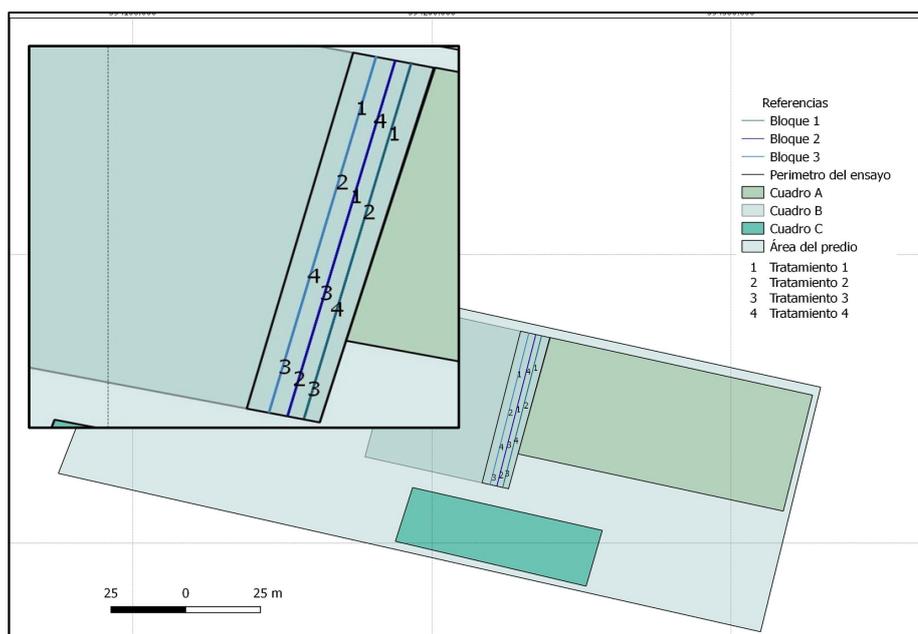
Tabla 4

Numeración de los tratamientos con distancia entre plantas, número y largo del bloque

Tratamiento	Distancia entre plantas (m)	Plantas/ha	Número de plantas	Largo (m)
1	0,3	14814	8	2,4
2	0,7	6349	8	5,6
3	1,1	4040	8	8,8
4	1,5	2962	8	12

Figura 1

Diagrama del predio con la ubicación de los ensayos realizados



3.3 Implantación y manejo agronómico

Se inició con la preparación de los canteros a una distancia de 2,25 metros entre ellos. Se utilizó siembra por plantín y se instaló un sistema de riego por goteo de un caudal de 1,2 l/h, con un riego de 30 minutos por la mañana y cuando se creía necesario se realizaba otro riego de la misma duración por la tarde. Se realizaron aplicaciones de fertilizantes de acuerdo con el desarrollo fenológico de la planta, así como de insecticidas y fungicidas biológicos mediante una pulverización con mochila.

3.4 Mediciones

Durante el ciclo del cultivo se realizaron mediciones de altura y número de nudos.

- **Altura:** La altura de las plantas se midió utilizando un centímetro de precisión, desde la base de la planta hasta el extremo superior de la misma desde el 9/12/2020 hasta el 18/2/22, con un total de siete mediciones.
- **Número de nudos:** Se contabilizó el número de nudos opuestos y alternos en cada planta. Se realizó la medición en siete momentos diferentes durante el ciclo de cultivo.

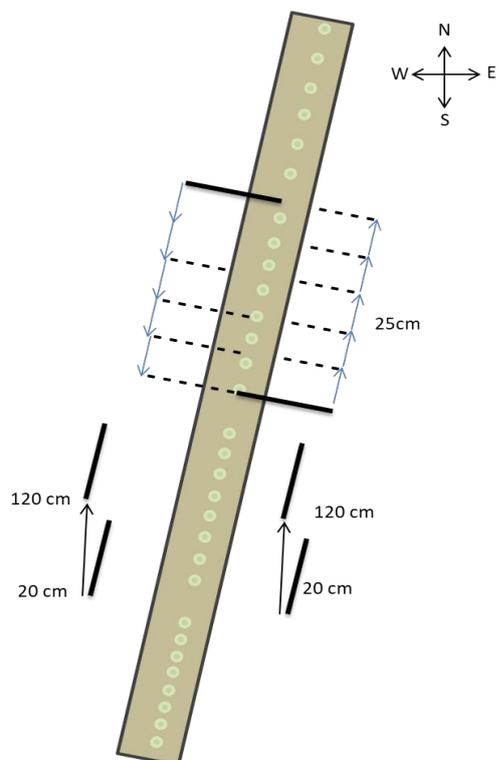
En cosecha se midió, IAF, peso fresco y peso seco de flor.

- **Índice de Área Foliar (IAF):** Para obtener el valor de IAF de los distintos tratamientos se utilizó un ceptómetro que mide la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Las mediciones se tomaron entre las 10 y 13 horas con el cielo totalmente despejado. Las mediciones realizadas se hicieron para evaluar el IAF del cultivo como una canopy continua a lo largo del camellón. Las primeras mediciones se tomaron en el camino ubicado entre los canteros a 20 cm del suelo y a 120 cm del lado este y oeste obteniendo la luz PAR instantánea. Las siguientes mediciones fueron en el cantero tomando cada 25 cm la luz PAR instantánea arriba del

cultivo y la luz por debajo del cultivo, colocando el ceptómetro en la base del tallo. Este procedimiento se repitió en cada tratamiento del lado este y oeste (ver figura 2)

Figura 2

Diagrama representativo del uso del ceptómetro



- **Peso fresco de la flora:** Se pesó el peso fresco de la flor una vez cosechados utilizando una balanza de precisión.

3.5 Registros meteorológicos

Para el cálculo de los Grados días se utilizaron los registros de la estación meteorológica de INIA Las Brujas (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2023). El período fue desde el 9 de diciembre de 2020 al 6 de abril de 2021.

3.6 Análisis de datos

Para analizar los datos obtenidos de las variables estudiadas, se realizó un análisis de varianza y se evaluaron los supuestos sobre los errores del modelo. Para aquellas variables que presentaron diferencias significativas en el efecto de los tratamientos en el ANAVA, se realizaron pruebas de comparación múltiple de Tukey. Para las pruebas se consideró un nivel de significancia de 5%. Estos análisis se llevaron a cabo en el Software R. Mediante el Software InfoStat se realizaron regresiones lineales las cuales todas se ajustaron al modelo y análisis de correlación para las variables estudiadas

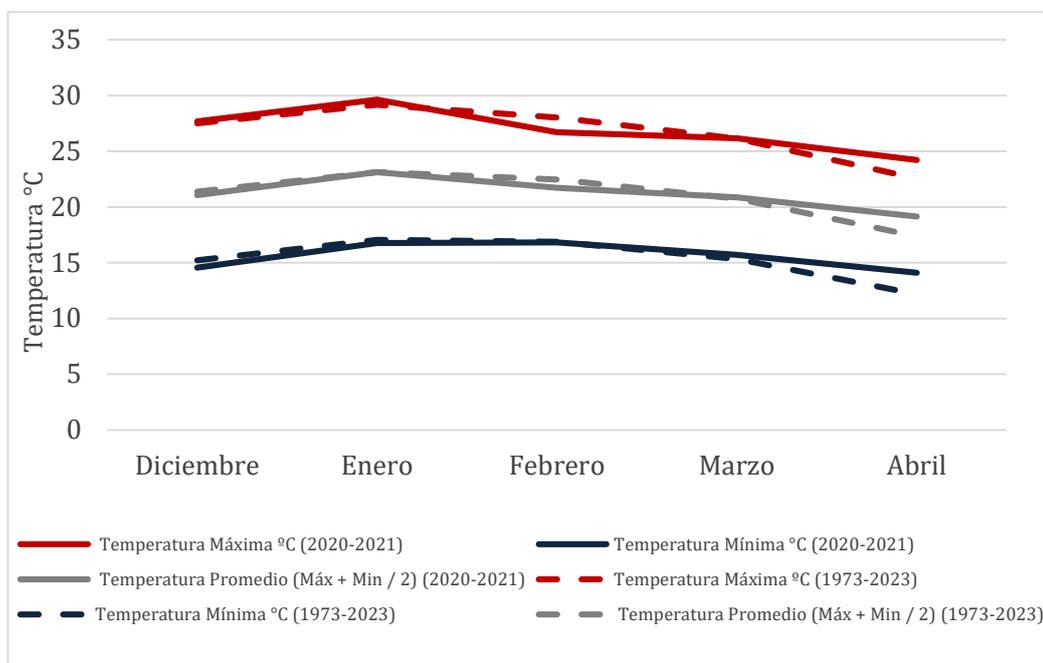
4. Resultados

4.1 Datos climáticos

En la figura 3 se presentan las temperaturas promedio mensuales para el año del estudio y las medias históricas. Se presentan las temperaturas medias mensuales máximas, mínimas y media. El año del estudio tuvo un régimen térmico muy similar al promedio histórico. Las diferencias pueden observarse en los tres parámetros (media, mínima y máxima) en el mes de abril; siendo el año de estudio más cálido respecto a la media. En abril la temperatura promedio máxima fue de 24,21 °C para el periodo en estudio y el histórico 22,54 °C, la media 19,14 °C y 17,37 °C, y las temperaturas promedio más bajas fueron de 14,11 °C y 12,18 °C respectivamente.

Figura 3

Registro de temperaturas máximas, mínimas y promedio mensuales del periodo 2020-2021 e históricas

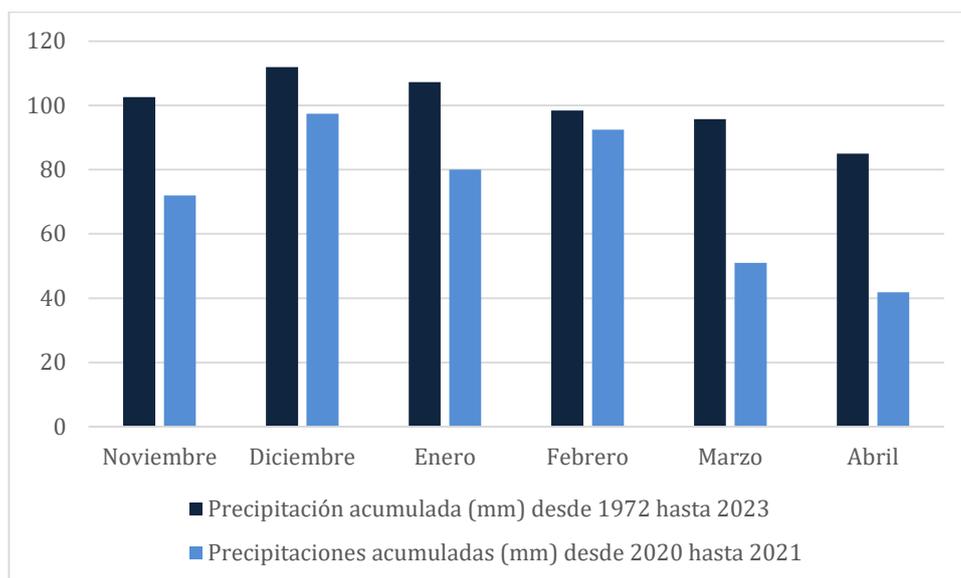


En la figura 4 se muestra la precipitación acumulada en milímetros desde el 27 de noviembre de 2020 hasta el 6 de abril de 2021. La mayoría de los días no registraron precipitación, manteniéndose en 0 mm, mientras que en algunas fechas se observaron pequeñas cantidades de lluvia, siendo la máxima de 66,5

mm el 1 de febrero de 2021. El acumulado durante el período analizado fue de 448,87 mm. El año del estudio tuvo un régimen hídrico similar al promedio histórico. Las mayores diferencias pueden observarse en los meses de marzo y abril; siendo el año de estudio más seco respecto a la media histórica.

Figura 4

Registros de precipitaciones acumuladas (mm) mensuales del periodo 2020-2021 e históricas



4.2 Ciclo del cultivo

El cultivo se implantó en 9/12 y se cosechó el 6/4 por lo que tuvo una duración de 119 días en total. En el periodo se acumularon 1253 GDD. En la tabla 5 se describe el ciclo con las fases del cultivo en base a los registros del desarrollo de los nudos opuestos y alternos que se analizan en los siguientes ítems.

Tabla 5*Etapas del ciclo del cultivo desde trasplante a cosecha*

Etapa	Fase Vegetativa		Fase Reproductiva			TOTAL
	I	II	I	II	III	
Periodo	9/12 al 18/12	18/12 al 7/1	7/1 al 22/1	22/1 al 4/2	4/2 al 6/4	9/12 al 6/4
Días	10	20 días	15 días	13 días	61 días	119
GD	107	225	164	155	602	1253

Nota. Etapas del ciclo del cultivo desde trasplante a cosecha, en base al desarrollo del número de nudos, con sus respectivos periodos, acumulación de días y GDD para cada etapa.

4.3 Altura de la planta

4.3.1 Efecto de la densidad de siembra en la altura de la planta en función de GDD

En la tabla 6, se puede observar la evolución de la altura desde siembra hasta el 18 de febrero. Se evidencia una diferencia significativa en la altura de las plantas entre los distintos tratamientos a partir de los 641 grados días (penúltima fecha de muestreo). Se observó una diferencia entre el tratamiento 2 y el tratamiento 4 con una diferencia de 15,8 cm a favor del T4 en la última fecha, el tratamiento de menor densidad de plantas. Los coeficientes de variación para cada fecha fueron bajos, el cuál es un indicador de una adecuada precisión en la determinación de esta variable altura.

Tabla 6

Altura promedio para cada tratamiento en cada fecha de muestreo medidos en GDD

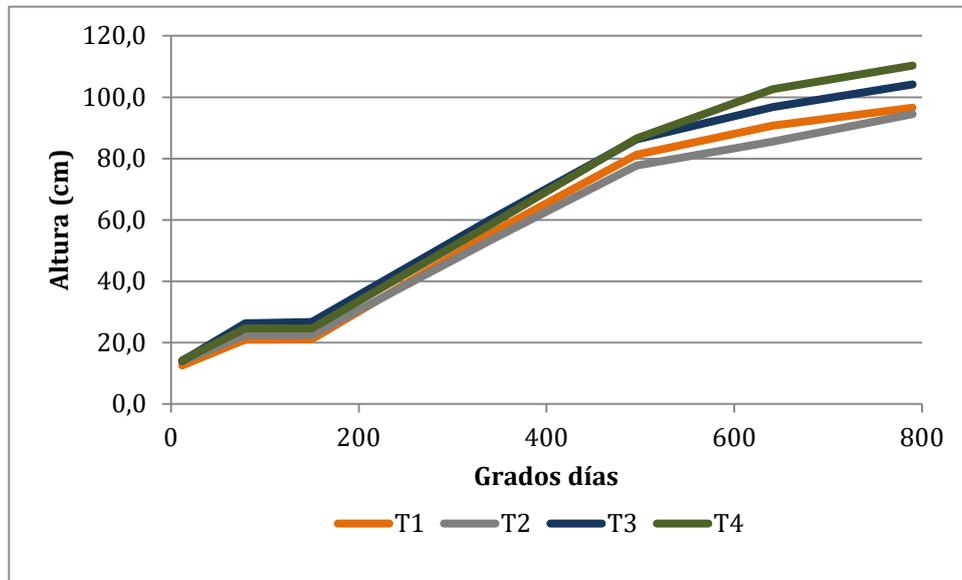
GDD	Fecha	T1 (0,3 m)	T2 (0,7 m)	T3 (1,1 m)	T4 (1,5 m)	CV
12	9/12/2020	12,6 a	14,0 a	14,0 a	14,3 a	10
79	16/12/2020	21,0 a	22,5 a	26,4 a	24,7 a	9,5
150	23/12/2020	21,2 a	22,5 a	26,8 a	24,7 a	8,5
342	8/1/2021	55,9 a	53,7 a	60,4 a	58,8 a	6,7
496	22/1/2021	81,2 a	77,7 a	86,3 a	86,6 a	6,4
641	3/2/2021	90,8 ab	85,6 b	96,8 ab	102,6 a	7,2
790	18/2/2021	96,6 ab	94,5 b	104,2 ab	110,3 a	7,8

Nota. Las diferentes letras indican si existe diferencia significativa entre tratamiento para un mismo momento.

En la Figura 5, se presenta la evolución de la altura en función de los grados días. Entre los 79 y los 150 grados días no se observó crecimiento para todos los tratamientos. A partir de los 150 GDD el crecimiento continuo, mostrando cambios de pendiente a los 500 y 650 GDD según tratamientos; a partir de allí la tasa de crecimiento es menor.

Figura 5

Evolución de la altura del cultivo de cannabis para cada tratamiento en función de GDD

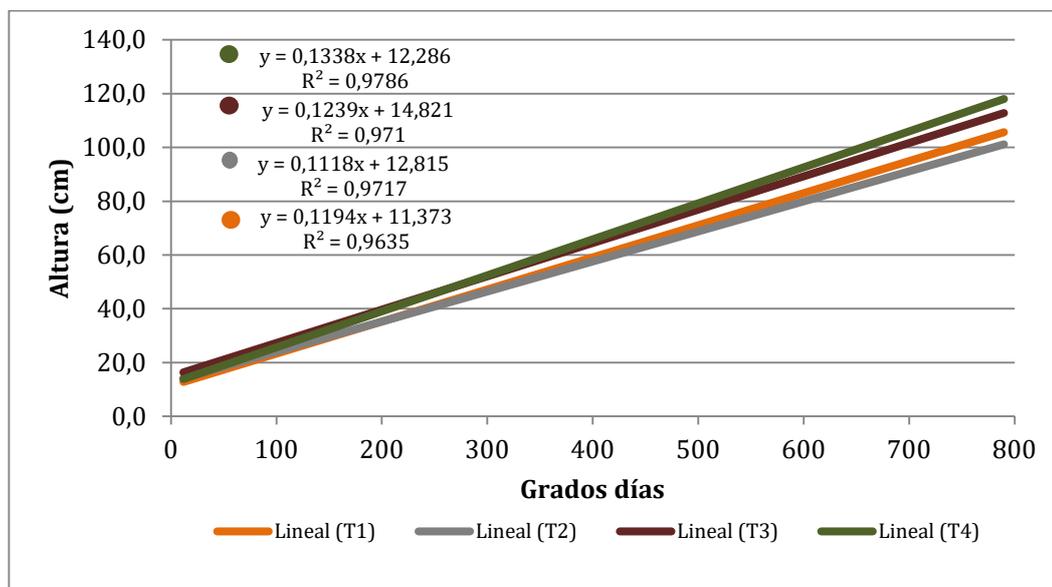


4.3.2 Regresión lineal ajustada para altura en función de GDD

El modelo lineal permite explicar adecuadamente la altura en función de lo GDD, con un valor de R^2 mayor a 0,9. Dadas las diferencias significativas en altura al final del periodo y como se muestran las tendencias de las gráficas, las tasas de crecimiento tienden a ser diferentes. Las pendientes de las curvas permiten calcular los requerimientos de calor por cm de crecimiento en altura, obteniendo valores en un rango entre 0,1118 cm y 0,1338 cm por cada GDD acumulado. Calculando la temperatura promedio del periodo se estima una tasa de crecimiento diaria de promedio entre tratamientos de 1,3 cm/día (Figura 6).

Figura 6

Regresión lineal ajustada para la altura en función de los GDD para cada tratamiento, con sus correspondientes ecuaciones y R2



4.4 Número de nudos

4.4.1 Número de nudos opuestos

4.4.1.1 Efecto de la densidad de siembra en el número de nudos opuesto en función de GDD

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del número de nudos opuestos acumulados a lo largo de las mediciones (Tabla 6). Se observó que el número de nudos opuestos aumenta hasta los 342 GDD (8/1/21). Hubo un incremento de entre 3,7 hasta 5,3 nudos según tratamiento entre el inicio y el final del ciclo. No se detectaron diferencias significativas para ninguna de las fechas en ninguno de los tratamientos.

Tabla 7

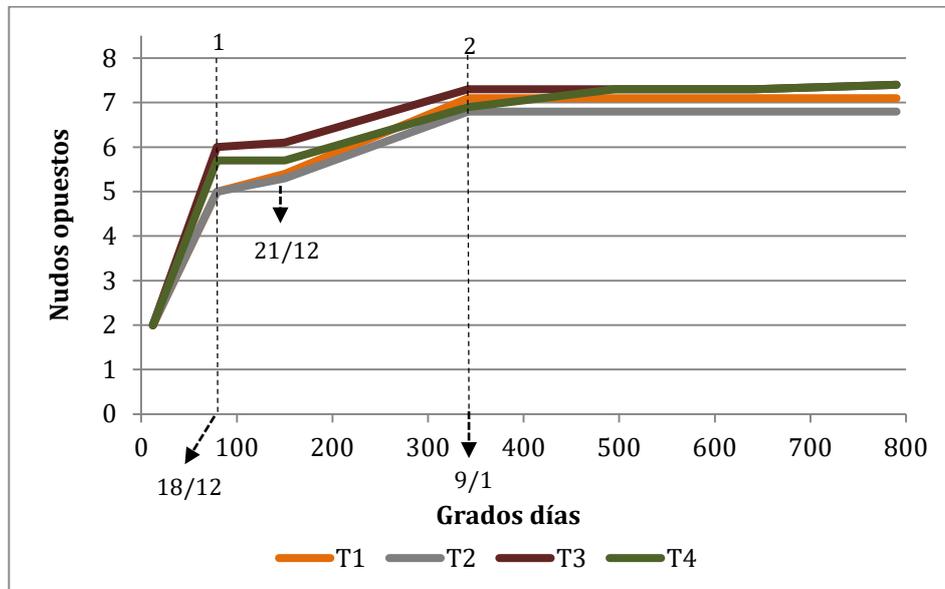
Evolución de nudos opuestos para cada tratamiento en diferentes momentos medidos en GDD

GD	Fecha	T1 (0,3 m)	T2 (0,7 m)	T3 (1,1 m)	T4 (1,5 m)	CV
12	9/12/2020	2	2	2	2	5,4
79	16/12/2020	5	5	6	5,7	7,7
150	23/12/2020	5,4	5,3	6,1	5,7	6,3
342	8/1/2021	7,1	6,8	7,3	6,9	7,2
496	22/1/2021	7,1	6,8	7,3	7,3	7
641	3/2/2021	7,1	6,8	7,3	7,3	11,4
790	18/2/2021	7,1	6,8	7,4	7,4	5,3

La figura 7 muestra la evolución del número de nudos opuestos en función de los grados días. A los 100 GDD (18/12) se observa un estancamiento del número de nudos opuestos hasta los 150 GDD, para posteriormente continuar aumentando hasta los 342 GDD el 9/1. A partir de esta fecha no hay más incremento en el número de nudos opuestos. Se identifican tres fases del crecimiento que están señaladas por las barras punteadas verticales, la primera fase de crecimiento vegetativo, la segunda una fase de transición y la tercera fase reproductiva.

Figura 7

Evolución del número de nudos opuestos acumulados para cada tratamiento en función de GDD



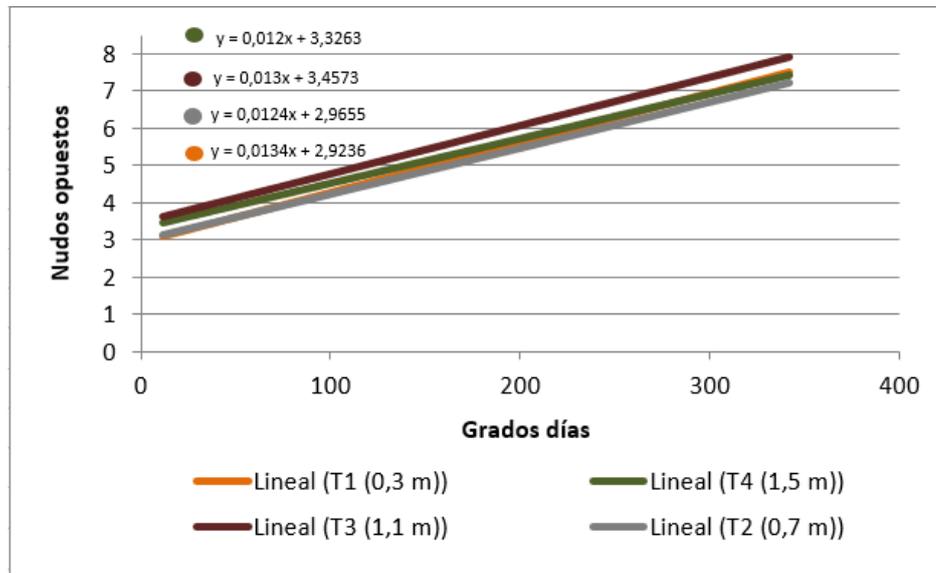
Nota. Las líneas con los números 1 y 2 dividen la gráfica en 3 momentos (fase de crecimiento vegetativo, fase de transición, fase reproductiva).

4.4.1.2 Regresión lineal ajustada para el número de nudos opuestos acumulados en función de los GDD

Los modelos obtenidos muestran una relación lineal positiva entre ambas variables. Estos modelos permitieron calcular el requerimiento de calor para la formación de un nuevo nudo, estos valores estuvieron en 0,012 para los valores mínimos correspondientes al tratamiento 2 y 4 y 0,013 para el valor máximo correspondientes a los tratamientos 1 y 3 (figura 8). El requerimiento de calor para formar un nudo opuesto nuevo es menor en la fase vegetativa. Las tasas de desarrollo es aproximadamente de 0,13 nudos por día.

Figura 8

Regresión lineal ajustada para el número de nudos opuestos acumulados en función de los GDD



4.4.2 Nudos alternos

4.4.2.1 Efecto de la densidad de siembra en el número de nudos alternos en función de GDD

El número de nudos alternos registrados en cada fecha de muestreo se muestran en la Tabla 8 con sus correspondientes GDD acumulados para cada tratamiento. Los nudos alternos comenzaron a registrarse el 8/1 cuando el cultivo llevaba acumulados 342 GDD. Al igual que para número de nudos opuestos no se detectaron diferencias significativas para ninguna fecha ni tratamiento. Se observó que el número de nudos alternos aumentó hasta el final de los registros a los 790 GDD, (18/2). Hubo un incremento de entre 2,6 hasta 3,9 nudos según tratamiento entre el inicio y el final del período. Se puede observar que el CV es bastante alto en algunos casos (por ejemplo, 20,7% en el GD 342 para el tratamiento 1), lo que sugiere una mayor variabilidad entre las plantas dentro de un mismo tratamiento.

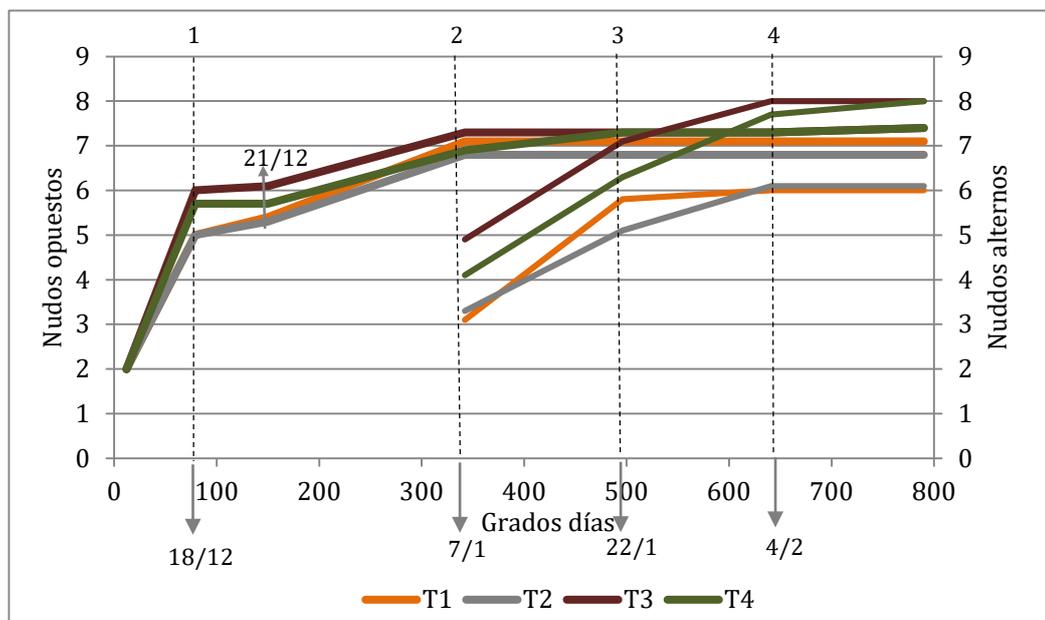
Tabla 8*Evolución de nudos alternos según grados días para cada tratamiento*

GD	Fecha	T1 (0,3 m)	T2 (0,7 m)	T3 (1,1 m)	T4 (1,5 m)	CV
342	8/1/2021	3,1	3,4	4,9	4,1	20,7
496	22/1/2021	6,1	4,8	7,3	5,8	14,8
641	3/2/2021	6,3	6	7,8	7,6	16,3
790	18/2/2021	6,3	6	8	8	9,4

Se presentan los resultados gráficamente para ver la evolución en su conjunto (Figura 11). Al igual que para número de nudos opuestos se observaron cambios en las pendientes de las curvas. Se identificó una primera fase hasta los 496 GD para los cuatro tratamientos, que llamamos fase reproductiva 1. Una segunda fase hasta los 641 GDD, fase reproductiva 2. La segunda fase en el T 1 ya es estacionaria, mientras que en los demás sigue aumentando el número de nudos. A partir de los 641 GDD el crecimiento se estaciona en los tratamientos 2, 3 y 4, fase de maduración de flor.

Figura 9

Evolución de nudos opuestos y alternos para cada tratamiento según GDD

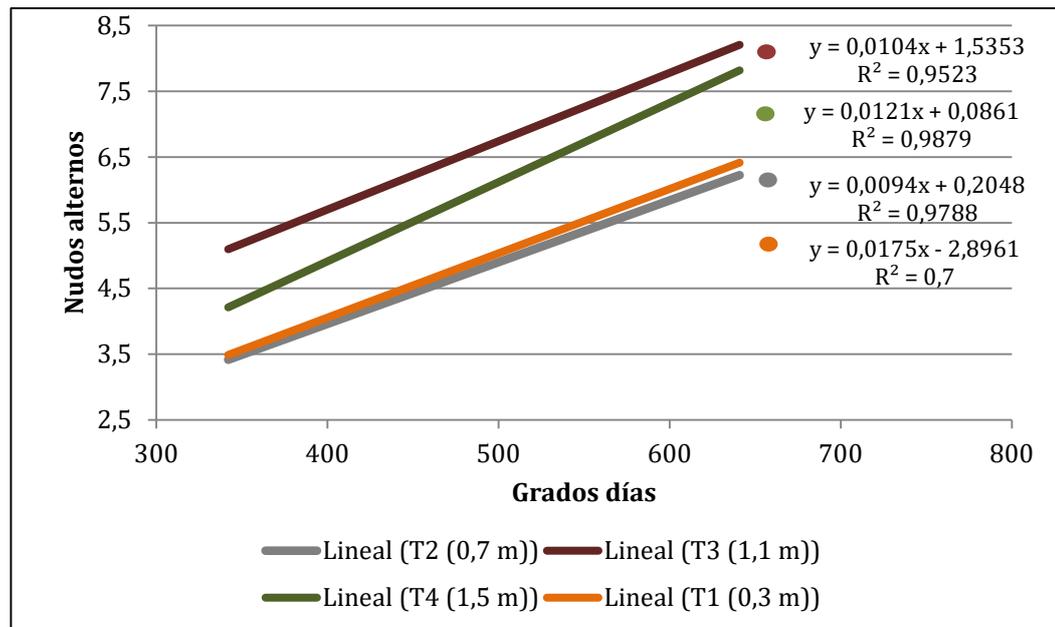


4.4.2.2 Regresión lineal ajusta de nudos alternos acumulados en función de GDD

Las regresiones lineales ajustadas presentamos todas un R^2 mayor a 0,7 lo que indica que la regresión lineal es una buena aproximación para describir la relación entre las variables. Los modelos obtenidos muestran una relación lineal positiva entre ambas variables. Estos modelos permitieron calcular el requerimiento de calor para la formación de un nuevo nudo, estos valores estuvieron entre 0,009 y 0,0175, mínimo y máximo correspondientes a los tratamientos 4 y 1 para la fase reproductiva 1 (figura 12)

Figura 10

Regresión lineal de nudos alternos para los diferentes tratamientos



4.5 Efecto de la densidad de siembra en el índice de área

El total de registros realizados por el ceptómetro fueron 310. En la tabla 9 se muestran los valores de IAF obtenidos, los resultados no se diferenciaron significativamente entre tratamientos y se mantuvo en un rango entre 1,08 y 1,72 según tratamiento.

Tabla 9

Índice de área foliar para cada tratamiento con desvíos, valores máximos y mínimos

Tratamiento	Media	Desvío	Min.	Max
1	1,96	0,59	0,94	3,2
2	1,44	0,76	0,17	3,5
3	1,72	1,2	0,06	5,2
4	1,08	0,87	0,03	3,3

4.6 Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento en flor

Los resultados indicaron que el tratamiento 3 (1,1 metros entre plantas) tuvo el mayor peso fresco por planta (2,5 kg) con respecto a los tratamientos 1 y 2. El tratamiento 1 (0,4 m entre plantas) tuvo el menor rendimiento por planta, 0,64 kg/planta, siendo significativamente diferente del tratamiento 3 y 4. Al comparar los pesos secos por hectárea no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 10).

Tabla 10*Prueba de Tukey para los valores promedio de peso por planta y por hectárea*

Tratamiento	Peso fresco sin trimear (kg/pl)	Peso seco trimeado (kg/pl)	Peso seco trimeado (kg/ha)
3	2,49 a	0,474 a	1914,96 a
4	2,01 ab	0,39 ab	1155,56 a
2	1,38 bc	0,261 bc	1657,14 a
1	0,64 c	0,122 c	1807,41 a

4.7. Análisis de correlación

La matriz de correlación muestra la relación entre las diferentes variables en el estudio (Tabla 11). El número de nudos opuestos alternos y la altura se correlacionan entre si todos positivamente y con R superiores a 0,7. El peso fresco se correlaciona positivamente con R mayores a 0,4 con las variables número de nudos y altura. Las correlaciones con IAF fueron todas negativas, pero muy bajas. En resumen, las plantas más altas tienen más nudos y mayor rendimiento no habiendo correlación con el IAF del cultivo.

Tabla 11*Matriz de correlación para cada parámetro evaluado*

	NO	NA	ALTURA	PF (Kg/pl)	IAF
NO	1				
NA	0,732	1			
ALTURA	0,786	0,965	1		
PF (Kg/pl)	0,424	0,762	0,547	1	
IAF	-0,244	-0,352	-0,494	-0,113	1

5. Discusión

El ciclo del cultivo 2020-2021 tuvo un régimen térmico e hídrico con promedios similares las medias históricas. El ciclo duró hasta cosecha 119 días acumulando un total 1253 GDD. El ciclo del cultivo fue corto ya que se han reportado ciclos de hasta 6 y 7 meses (Chandra et al., 2017; Clarke & Merlin, 2013; Small, 2015). El largo del ciclo está directamente asociado a una siembra tardía (diciembre). Sin embargo, en nuestras condiciones se ha reportado un ciclo de 70 días con flor de calidad con siembras de enero (Barlocco Amorin et al., 2021). En cuanto al requerimiento de calor, la única referencia que se encontró es la de Reichel et al. (2021) quienes reportan un requerimiento de 1000 GDD para detención del crecimiento en altura y señala un periodo vegetativo de 430 GDD (fase I y II figura 7) y 670 GDD de fase reproductiva (fase I y II, Figura 10) antes de la detención del crecimiento. Si bien los valores totales son similares a los resultados obtenidos en nuestro trabajo, diferentes temperaturas base consideradas limitan la comparación. Reichel et al. (2021) utilizan una temperatura base de 8°C, menor a la reportada por Amaducci et al. (2008), que fue la utilizada en nuestro trabajo (11,3 °C).

La altura de la planta en cultivos a campo para flor puede variar, en promedio, entre 2 m, según la empresa Drury Lane (P. Milesi, comunicación personal, 15 de junio, 2021) y 50 cm (Barlocco Amorin et al., 2021). Las alturas registradas en nuestro trabajo son similares a las reportadas por Reichel et al. (2021). Considerando una temperatura media mensual de 22,27°C las tasas de crecimiento calculadas arrojan el dato de crecimiento de 1,3 cm por día. Estas son inferiores a los reportados Linder y más cercana a las reportadas por Cherniak (1982) y Clarke y Merlin (2016). Altas densidades de plantación reducen la altura de la planta y esto es una respuesta a la competencia establecida entre plantas fundamentalmente por luz, agua y nutrientes (Hall et al., 2014).

La altura es una consecuencia directa del número de nudos y el largo de entrenudos (Burgel et al., 2020). El total de nudos medidos es de 15, sumando opuestos y alternos mientras que Burgel et al. (2020) reportan hasta 20. No se encontraron trabajos que discriminaran los nudos según filotaxis sin considerar el trabajo precedente en Uruguay de Barlocco Amorin et al. (2021). El incremento del número de nudos alternos comienza cuando se detiene la aparición de nudos opuesto y ese momento señala el cambio de fase vegetativa a reproductiva (Van

der Werf et al., 1994). Los requerimientos de calor de ambas fases se corresponden con lo reportado (Reichel et al., 2021). Dentro de ambas fases, vegetativa y reproductiva puede observarse dos subfases debido a sus diferentes tasas de crecimiento. Si bien no se han reportado esta subdivisión del comportamiento, las tasas de formación de nudos por día en rangos generales son similares a las reportadas por Reichel et al. (2021). Si bien no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes densidades de siembra en el desarrollo de nudos alternos, puede observarse una curva de aparición de nudos diferente en las plantas a mayor densidad con una mayor tasa de desarrollo (Figura 12) con un valor de 0,017 (nudos/GD). Estas llegan a una fase estacionaria anticipadamente en comparación con las otras densidades. Este comportamiento puede estar respondiendo a las condiciones de competencia por luz y es parte de la explicación de porqué las plantas en menor densidad son más altas. Las plantas en todas las densidades desarrollaron el mismo número de nudos opuestos (fase vegetativa) lo que evidencia que la competencia por recursos se establece más tarde, en la fase reproductiva, principalmente en la subfase I.

El IAF fue igual para todas las densidades de plantación. Al comparar con los datos bibliográficos los valores obtenidos fueron inferiores a los citados (3,9-2,3) (Kakabouki et al., 2021; Tang et al., 2017). En las altas densidades era frecuente encontrar espacios entre plantas con incidencia de la luz directa sobre el suelo al final del ciclo. Esta condición podría reducir el IAF del cultivo en dichas condiciones dado que el mismo se evalúa como canopia continua y los registros se integran a nivel parcela de muestreo. Existe un efecto compensador en la captura de la luz, en la medida que la planta tiene más espacio; esta se expande hacia los costados con mayor desarrollo de los laterales (Burgel et al., 2020). El crecimiento de las plantas lateralmente en forma compensatoria tiene un límite que es la competencia por luz (Donald, 1958), por lo cual no se obtienen diferentes IAF entre diferentes densidades de plantación.

Los rendimientos reportados en la bibliografía en peso seco de flor por hectárea, son muy variables en función de la densidad de plantación el cultivar y las localidades (Barlocco Amorin et al., 2021; Bolaños Herrera et al., 2022; García Tejero et al., 2014, 2019; Yang et al., 2020). En los trabajos de García Tejero et al. (2014, 2019) se observó un incremento en los rendimientos con aumentos de

la densidad de plantación, a densidades mayores a las utilizadas en nuestro trabajo, mayores a 10000 pl/ha. Esta respuesta no se observó en nuestras condiciones a nivel de producción por hectárea. Con relación al peso fresco de flores sin trimear, si se observó un mayor rendimiento por planta a bajas densidades (Tabla 10), pero esta diferencia se diluye al calcularlo por hectárea.

En resumen, si bien se observó plantas más altas a bajas densidades, los IAF de las parcelas son similares, lo que permite inferir que hay un efecto compensatorio, donde las plantas más altas desarrollan área foliar en el espacio entre ellas. Mediciones del IAF durante todo el desarrollo del cultivo hubieran podido mostrar el crecimiento anticipado de las plantas de menor altura de las densidades altas, cubriendo antes el espacio del camellón y deteniendo antes su crecimiento en altura por competencia principalmente lumínica. Similares IAF entre las diferentes densidades explican rendimientos por hectárea similares con arquitecturas de plantas diferentes. Son necesarios análisis económicos para valorar agrónomicamente los resultados obtenidos. Futuros trabajos deberían realizar una descripción de la arquitectura de las plantas para profundizar en el desarrollo de la especie en respuesta a densidades de plantación.

6. Conclusiones

1) Las plantas en densidades altas fueron más bajas como consecuencia de la competencia temprana por luz. La altura de la planta se correlacionó positivamente al número de nudos desarrollados en las plantas. La evolución de número de nudos alternos que corresponde a la fase reproductiva, lo que nos permitió identificar subfases de desarrollo diferentes que explicarían las diferencias en altura final.

2) La ausencia de diferencia en el IAF entre las parcelas a diferentes densidades de siembra evidenció un efecto compensatorio en el cultivo. La mayor altura compensó el menor número de plantas por unidad de superficie.

3) Los rendimientos por planta fueron mayores en las plantas de mayor altura ya que estas tuvieron un mayor desarrollo, sin embargo, en el rango de densidades evaluadas, los rendimientos por hectárea no se incrementaron en la misma proporción.

CONSIDERACIONES FINALES

1) Mediciones de IAF a lo largo del desarrollo del cultivos y descripciones morfológicas de las plantas serian necesaria para describir en profundidad del efecto compensatorio que realizan las plantas a diferentes densidades de plantación.

2) Es necesario evaluar la calidad de la flor en respuesta a las densidades de plantación. Sin embargo, estas evaluaciones requieren una alta cantidad de horas de trabajo ya que se necesita individualizar las unidades florales o inflorescencia a través del proceso de trimeado y secado. Por otro lado, también se requieren análisis de calidad química.

3) Evaluaciones en otras condiciones de cultivo vinculadas a suelos y cultivar, así como análisis económicos serán necesarios para identificar densidades óptimas.

7. Referencias

- Al Ubeed, S. H. M., Wills, R. B. H., & Chandrapala, J. (2022). Post-harvest operations to generate high-quality medicinal Cannabis products: A systemic review. *Molecules*, 27(5), Artículo e1719. <https://doi.org/10.3390/molecules27051719>
- 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>
- Ambroszczyk, A. M., Cebula, S., & Sękara, A. (2008). The Effect of Plant Pruning on the Light Conditions and Vegetative Development of Eggplant (*L.*) in Greenhouse Cultivation. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 68(1), 57-70. <https://doi.org/10.2478/v10032-008-0005-4>
- Andre, C. M., Hausman, J.-F., & Guerriero, G. (2016). Cannabis sativa: The Plant of the Thousand and One Molecules. *Frontiers in Plant Science*, 7(1), 90-102. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00019>
- 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>

- Barlocco Amarin, S., Lust Álvarez, J., & Urioste Panissa, M. (2021). *Desarrollo y rendimiento de cannabiss medicinal CW2a en siembras tardías de día corto* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/36857>
- Barraza, F., Fischer, V., & Cardona, G. (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 81-90.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823011>
- Bazzaz, F. A., Dusek, D., Seigler, D. S., & Haney, A. W. (1975). Photosynthesis and cannabinoid content of temperate and tropical populations of *Cannabis sativa*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 3(1), 15-18.
[https://doi.org/10.1016/0305-1978\(75\)90036-8](https://doi.org/10.1016/0305-1978(75)90036-8)
- Bian, Z. H., Yang, Q. C., & Liu, W. K. (2015). Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: A review: Effects of light on vegetable phytochemicals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(5), 869-877.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.6789>
- Bolaños Herrera, A., Quirós Campos, S., Alfonso Sanchez, L., & O'Bryan, D. (2022). *Evaluación preliminar de cultivares de cáñamo industrial (Cannabis sativa L.) en dos regiones de Costa Rica*. Ministerio de Ganadería y Agricultura.
- Booth, J. K., & Bohlmann, J. (2019). Terpenes in *Cannabis sativa*: From plant genome to humans. *Plant Science*, 284, 67-72.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.03.022>

- Burgel, L., Hartung, J., Schibano, D., & Graeff-Hönninger, S. (2020). Impact of different phytohormones on morphology, yield and cannabinoid content of *Cannabis sativa* L. *Plants*, 9(6), Artículo e725.
<https://doi.org/10.3390/plants9060725>
- Campiglia, E., Radicetti, E., & Mancinelli, R. (2017). Plant density and nitrogen fertilization affect agronomic performance of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) in Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products*, 100, 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.022>
- Chandra, S., Lata, H., Ikhlas, A. K., & ElSohly, M. A. (2017). *Cannabis sativa* L. - Botany and Horticulture. En S. Chandra, H. Lata, & M. A. ElSohly (Eds.), *Cannabis sativa L-Botany and Biotechnology* (pp. 79-100). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-54564-6>
- Chandra, S., Lata, H., Khan, I. A., & ElSohly, M. A. (2013). *The role of biotechnology in cannabis sativa propagation for the production of phytocannabinoids*. En S. Chandra, H. Lata, & A. Varma (Eds.), *Biotechnology for Medicinal Plants* (pp. 123-148). Springer.
- Cherniak, L. (1982). *The Great Books of Cannabis* (Vol. 1). Damele.
- Clarke, R. C., & Merlin, M. D. (2013). Cannabis: Evolution and ethnobotany. *Plant Ecology and Evolution*, 147(1), 149-149.
<https://doi.org/10.5091/plecevo.2014.933>
- Clarke, R. C., & Merlin, M. D. (2016). Cannabis domestication, breeding history, present-day genetic diversity, and future prospects. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 35(5-6), 293-327.
<https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1267498>

Crispim Massuela, D., Hartung, J., Munz, S., Erpenbach, F., & Graeff-Hönninger, S. (2022). Impact of harvest time and pruning technique on total CBD concentration and yield of medicinal cannabis. *Plants*, 11(1), Artículo e140. <https://doi.org/10.3390/plants11010140>

Da Silva Benevenuto, S., Freeman, J. H., & Yang, R. (2022). How do pinching and plant density affect industrial hemp produced for cannabinoids in open field conditions? *Agronomy Journal*, 114(1), 618-626. <https://doi.org/10.1002/agj2.20882>

Danziger, N., & Bernstein, N. (2021). Shape matters: Plant architecture affects chemical uniformity in large-size medical cannabis plants. *Plants*, 10(9), Artículo e1834. <https://doi.org/10.3390/plants10091834>

Danziger, N., & Bernstein, N. (2022). Too dense or not too dense: Higher planting density reduces cannabinoid uniformity but increases yield/area in drug-type medical cannabis. *Frontiers in Plant Science*, 13, Artículo e713481. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.713481>

Deng, G., Du, G., Yang, Y., Bao, Y., & Liu, F. (2019). Planting density and fertilization evidently influence the fiber yield of hemp (*cannabis sativa* L.). *Agronomy*, 9(7), Artículo e368. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070368>

Decreto n° 46/015: *Reglamentación de la ley 19.172 relativa a la regulación y control del cannabis*. (2015). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/46-2015>

Decreto n° 403/016: *Aprobación del marco regulatorio para hierbas medicinales, especialidades vegetales y medicamentos fitoterápicos*. (2016). IMPO.

<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/403-2016>

Decreto n° 56/023. (2023). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-originales/56-2023>

Dirección General de Recursos Naturales. (s.f.). *Serie: Rincón de Pando (RdPa)*.

MGAP. <http://dgrn.mgap.gub.uy/Cartografia/Series/RdPa.pdf>

Donald, C. M. (1958). The interaction of competition for light and for nutrients. *Australian Journal of Agricultural Research*, 9(4), 421-435.

<https://doi.org/10.1071/ar9580421>

Eichhorn Bilodeau, S., Wu, B.-S., Ruffykiri, A.-S., MacPherson, S., & Lefsrud, M. (2019). An update on plant photobiology and implications for cannabis production. *Frontiers in Plant Science*, 10, Artículo e296.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00296>

Empresas del Uruguay. (2020, junio). *Uruguay Can lanza la primera solución mundial de trazabilidad de cannabis medicinal sobre blockchain*.

<https://www.empresasdeluruquay.com.uy/2020/06/01/uruguay-can-lanza-la-primera-solucion-mundial-de-trazabilidad-de-cannabis-medicinal-sobre-blockchain/>

Fassio, A., Rodríguez, M, J., & Ceretta, S. (2013). *Cáñamo (Cannabis sativa L.)*.

INIA.

https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2348

- Flemming, M. P., & Clarke, R. C. (1998). Physical evidence for the antiquity of *Cannabis sativa* L.(cannabaceae). *Journal of the International Hemp Association*, 5(2), 80-93.
https://www.researchgate.net/publication/228603981_Physical_evidence_for_the_antiquity_of_Cannabis_sativa_L
- Frank, M. (1988). *Marijuana Grower's Insider's Guide*. Red Eye Press.
- García Tejero, I. F., Duran Zuazo, V. H., Perez-Alvarez, R., Hernandez, A., Casano, S., Morón, M., & Muriel-Fernandez, J. L. (2014). Impact of Plant Density and Irrigation on Yield of Hemp (*Cannabis sativa* L.) in a Mediterranean Semi-arid Environment. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(4), 887-895.
- García Tejero, I. F., Durán Zuazo, V. H., Sánchez Carnenero, C., Hernández, A., Ferreiro-Vera, C., & Casano, S. (2019). Seeking suitable agronomical practices for industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation for biomedical applications. *Industrial Crops and Products*, 139, Artículo e111524. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111524>
- Grotenhermen, F. (2003). Pharmacokinetics and pharmacodynamics of cannabinoids. *Clinical Pharmacokinetics*, 42(4), 327-360.
<https://doi.org/10.2165/00003088-200342040-00003>
- Hall, J., Bhattarai, J. H. S. P., & Midmore, D. J. (2014). Effect of industrial hemp (*Cannabis sativa* L) planting density on weed suppression, crop growth, physiological responses, and fibre yield in the subtropics. *Renewable Bioresources*, 2(1), Artículo e1. <https://doi.org/10.7243/2052-6237-2-1>

- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2023). *Banco datos agroclimático*. <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Semillas. (s.f.). *Registro Nacional de Cultivares*.
<https://www.inase.uy/EvaluacionRegistro/RNC-RPC.aspx?v=y>
- International Narcotics Control Board. (2021). *Estupefacientes*. United Nations.
https://www.incb.org/documents/Narcotic-Drugs/Technical-Publications/2021/Narcotic_Drugs_Technical_Publication_2021.pdf
- International Narcotics Control Board. (2022). *Estupefacientes*. United Nations.
https://www.incb.org/documents/Narcotic-Drugs/Technical-Publications/2022/Narcotic_Drugs_Technical_Publication_2022.pdf
- Jin, D., Jin, S., & Chen, J. (2019). Cannabis indoor growing conditions, management practices, and post-harvest treatment: A Review. *American Journal of Plant Sciences*, 10(06), 925-946.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2019.106067>
- Jin, J.-J., Yang, M.-Q., Fritsch, P. W., Velzen, R., Li, D.-Z., & Yi, T.-S. (2020). Born migrators: Historical biogeography of the cosmopolitan family Cannabaceae. *Journal of Systematics and Evolution*, 58(4), 461-473.
<https://doi.org/10.1111/jse.12552>
- Kakabouki, I., Kousta, A., Folina, A., Karydogianni, S., Zisi, C., Kouneli, V., & Papastylianou, P. (2021). Effect of fertilization with urea and inhibitors on growth, yield and CBD concentration of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Sustainability*, 13(4), Artículo 2157.
<https://doi.org/10.3390/su13042157>

- Kebrom, T. H. (2017). A growing stem inhibits bud outgrowth – the overlooked theory of apical dominance. *Frontiers in Plant Sciences*, 8, Artículo e1874. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01874>
- Leme, F. M., Schönenberger, J., Staedler, Y. M., & Teixeira, S. P. (2020). Comparative floral development reveals novel aspects of structure and diversity of flowers in Cannabaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 193(1), 64-83. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boaa004>
- Ley n° 19.172: *Ley de Regulación y control de Cannabis*. (2013). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/19172-2013>
- Ley n° 19.845: *Declaración de interés público la investigación sobre el cannabis y sus aplicaciones en todas las áreas del conocimiento*. (2019). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/19845-2019#:~:text=Cr%C3%A9ase%20el%20Centro%20Uruguayo%20de,planta%20y%20derivados%20del%20cannabis%2C>
- Ley n° 19.847: *Declaración de interés público las acciones tendientes a proteger, promover y mejorar la salud pública mediante productos de calidad controlada y accesibles, en base a cannabis o cannabinoides, así como el asesoramiento médico e información sobre beneficios y riesgos de su uso*. (2019). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/19847-2019>
- Linder, E. R., Young, S., Li, X., Henriquez Inoa, S., & Suchoff, D. H. (2022). The effect of transplant date and plant spacing on biomass production for floral hemp (*Cannabis sativa* L.). *Agronomy*, 12(8), Artículo e1856. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081856>

- 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., & Samuels, A. L. (2020). Cannabis glandular trichomes alter morphology and metabolite content during flower maturation. *The Plant Journal*, 101(1), 37-56. <https://doi.org/10.1111/tpj.14516>
- Maplogs. (2020). *Horas de salida y puesta de sol de departamento de Montevideo, Uruguay*. Maplogs.com. https://sunrise.maplogs.com/es/montevideo_department_uruguay.2233.html?year=2022%20como%20citar%20pagina%20de%20datos?
- McPartland, J. M., Clarke, R. C., & Watson, D. P. (2000). *Hemp Diseases and Pests: Management and Biological Control*. CABI.
- Meijer, W. J. M., van der Werf, H. M. G., Mathijssen, E. W. J. M., & van den Brink, P. W. M. (1995). Constraints to dry matter production in fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *European Journal of Agronomy*, 4(1), 109-117. [https://doi.org/10.1016/s1161-0301\(14\)80022-1](https://doi.org/10.1016/s1161-0301(14)80022-1)
- Merfield, C. N. (1999). *Industrial hemp and its potential for New Zealand*. <http://www.merfield.com/research/2003/hemp/hemp.pdf>
- Monteith, J. L., & Moss, C. J. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 281(980), 277-294. <https://doi.org/10.1098/rstb.1977.0140>

Mourad, R., Jaafar, H., Anderson, M., & Gao, F. (2020). Assessment of leaf area index models using Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data over a semi-arid irrigated landscape. *Remote Sensing*, 12(19), Artículo e3121. <https://doi.org/10.3390/rs12193121>

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022). *Anuario estadístico agropecuario 2022*. MGAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2022/O_MGAP_Anuario_estad%C3%ADstico_%202022-DIGITAL.pdf

Pacher, P., Bátakai, S., & Kunos, G. (2006). The endocannabinoid system as an emerging target of pharmacotherapy. *Pharmacological Reviews*, 58(3), 389-462. <https://doi.org/10.1124/pr.58.3.2>

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. *Euphytica*, 160, 231-240. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9543-y>

Pertwee, R. G. (2014). *Handbook of Cannabis*. Oxford University Press.

Pizzanelli, M. (2022). Caracterización de la estructura de costos del cultivo de cannabis para CDB en Uruguay, zafra 2021-2022. En *Anuario OPYPA 2022* (pp. 681-690). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/estudios/caracterizacion-estructura-costos-del>

Reichel, P., Munz, S., Hartung, J., Präger, A., Kotiranta, S., Burgel, L., Schober, T., & Graeff-Hönninger, S. (2021). Impact of three different light spectra on the yield, morphology and growth trajectory of three different *Cannabis sativa* L. strains. *Plants*, *10*(9), Artículo e1866.

<https://doi.org/10.3390/plants10091866>

Rosenthal, E. (2010). Harvest and beyond. En A. Bacca & H. L. Johnson-Igra (Eds.), *Marijuana Grower's Handbook: Your Complete Guide for Medical & Personal Marijuana Cultivation* (pp. 393-411). Quick American Publishing. <https://books.google.com.uy/books?id=ySRFAAAAQBAJ>

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]. Colibrí.

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/36676>

Saloner, A., & Bernstein, N. (2021). Nitrogen supply affects cannabinoid and terpenoid profile in medical cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, *167*, Artículo e113516.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113516>

Saloner, A., Sacks, M. M., & Bernstein, N. (2019). Response of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.) genotypes to K supply under long photoperiod. *Frontiers in Plant Science*, *10*, Artículo e1369.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01369>

Sawler, J., Stout, J. M., Gardner, K. M., Hudson, D., Vidmar, J., Butler, L., Page, J. E., & Myles, S. (2015). The Genetic Structure of Marijuana and Hemp. *PLOS ONE*, *10*(8), Artículo e0133292.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133292>

- Seddon, T., & Floodgate, W. (2020). A Global Review of Cannabis Regulation Models. En P. M. Cham (Ed.), *Regulating Cannabis* (pp. 111-118). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52927-7_2
- Sengloung, T., Kaveeta, L., & Nanakorn, W. (2009). Effect of Sowing Date on Growth and Development of Thai Hemp (*Cannabis sativa* L.). *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 43(3), 423-431. https://www.researchgate.net/publication/266355662_Effect_of_Sowing_Date_on_Growth_and_Development_of_Thai_Hemp_Cannabis_sativa_L
- Shiponi, S., & Bernstein, N. (2021). Response of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.) genotypes to P supply under long photoperiod: Functional phenotyping and the ionome. *Industrial Crops and Products*, 161, Artículo e113154. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113154>
- Small, E. (2015). Evolution and classification of cannabis sativa (marijuana, hemp) in relation to human utilization. *The Botanical Review*, 81(3), 189-294. <https://doi.org/10.1007/s12229-015-9157-3>
- 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>
- Tang, K., Struik, P. C., Yin, X., Calzolari, D., Musio, S., Thouminot, C., Bjelková, M., Stramkale, V., Magagnini, G., & Amaducci, S. (2017). A comprehensive study of planting density and nitrogen fertilization effect on dual-purpose hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation. *Industrial Crops and Products*, 107, 427-438. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.033>

- Thomas, B. F., & Elsohly, M. (2015). *The Analytical Chemistry of cannabis: Quality Assessment, Assurance, and Regulation of Medicinal Marijuana and Cannabinoid Preparations*. Elsevier.
- United Nations Office on Drugs and Crime. (2009). *Recommended Methods for the Identification and Analysis of Cannabis and Cannabis Products: Manual for use by national drug testing laboratories*. United Nations Publications.
- United Nations Office on Drugs and Crime. (2022). *Drug market trends: Cannabis opioids*. https://www.unodc.org/res/wdr2022/MS/WDR22_Booklet_3.pdf
- Upton, R., Craker, L., Elsohly, M., Romm, A., Russo, E., & Sexton, M. (2013). *Cannabis Inflorescence: Cannabis Spp.: Standards of Identity, Analysis, and Quality Control*. American Herbal Pharmacopoeia. https://american-safe-access.s3.amazonaws.com/documents/AHP_Cannabis_Monograph_Preview.pdf
- Uruguay XXI. (2020). *Oportunidades de inversión: Cannabis*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/37fbeded8d4e83cb31bf340aee41d1958ee6e3f9.pdf>
- Uruguay XXI. (2023). *Sector Cannabis en Uruguay*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/9a6dde7632d555a44fec072d1f470acda7b48be0.pdf>

- Van der Werf, H. M. G., Haasken, H. J., & Wijnhuizen, M. (1994). The effect of daylength on yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *European Journal of Agronomy*, 3(2), 117-123.
[https://doi.org/10.1016/s1161-0301\(14\)80117-2](https://doi.org/10.1016/s1161-0301(14)80117-2)
- Vassilevska-Ivanova, R. (2019). Biology and ecology of genus cannabis: Genetic origin and biodiversity: In vitro production of cannabinoids. *Genetics and Plant Physiology*, 9(1-2), 75-98. http://www.bio21.bas.bg/ippg/bg/wp-content/uploads/2019/12/GPP_9_1-2_2019_75-98.pdf
- Yang, G.-Z., Luo, X.-J., Nie, Y.-C., & Zhang, X.-L. (2014). Effects of plant density on yield and canopy micro environment in hybrid cotton. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(10), 2154-2163. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(13\)60727-3](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(13)60727-3)
- Yang, R., Berthold, E. C., Mccurdy, C. R., Da, S., Benevenuto, S., Brym, Z. T., & Freeman, J. H. (2020). Development of Cannabinoids in Flowers of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.): A pilot study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(22), 6058-6064.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01211>
- Yang, S., Logan, J., & Coffey, D. L. (1995). Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*, 74(1-2), 61-74. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(94\)02185-m](https://doi.org/10.1016/0168-1923(94)02185-m)

8. Anexos

Anexo A

Tabla A1.

Estándares Específicos requeridos para el Cáñamo

Categoría	Prebásica	Básica	Certificada (C1 y C2)	Comercial A	Comercial B
CAMPO					
Rotación mínima (años sin cultivo de Cannabis sativa L.)	5	5	3	3	-
Aislamiento (metros)	Entre cultivares dioicas				
Otras variedades de Cannabis spp. Y cultivos de origen de semilla no certificada del mismo cultivar	4.800	4.800	1000	1000	-
Cultivos del mismo cultivar y categoría inferior	2.000	2.000	200	200	-
Cultivos del mismo cultivar y categoría igual o superior	3	3	3	3	-
Aislamiento (metros)	Entre cultivares monoicos e híbridos				
Cultivares del tipo dioicos de Cannabis spp. Y cultivos de origen no certificado del mismo cultivar	4.800	4.800	1000	1000	-
Cultivares diferentes de Cannabis spp. (monoicos e híbridos femeninos)	2.000	2.000	200	200	-
Cultivos del mismo cultivar y categoría certificada inferior	1.000	1.000	200	200	-
Cultivos del mismo cultivar y categoría igual o superior	3	3	3	3	-

Máximo de plantas fuera de tipo					
TIPO DIOICAS: Máximo de plantas fuera de tipo	0,03	0,10	0,10	0,10	-
TIPO MONOICAS: Máximo de plantas masculinas fuera de tipo emitiendo polen durante la inscripción	5	10,00	-	-	-
Máximo de plantas masculinas dioicas emitiendo polen durante la inscripción	0,01	0,02	0,10	0,10	-
Máximo de otras plantas fuera de tipo	0,03	0,10	0,10	0,10	-
LABORATORIO					
Pureza mínima (%)	98	98	98	98	98
Materia inerte máxima (%)	2	2	2	2	2
Otras semillas (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Germinación mínima (%)	80	80	80	80	80

Nota. En caso de que la producción sea realizada en estructuras que aseguren el aislamiento o existan barreras naturales o artificiales, no aplicarán las distancias establecidas. Se deben realizar al menos dos inspecciones antes de la cosecha. En semilleros de plantas monoicas (Prebásica y Básica) e híbridos femeninos se requieren al menos 3 inspecciones. Se deben realizar estaciones representativas en el área de producción, contemplando las diferentes zonas, observando al menos el 5 % de la población total de plantas.

Anexo B**Tabla B1.***Intervalo de confianza y r2 para cada tratamiento para la variable altura*

Tratamientos	Intervalo de confianza		r2
	5%	95%	
1	0.1091455	0.1275355	0,96
2	0.1031699	0.1214547	0,97
3	0.1127825	0.1350993	0,91
4	0.124581	0.1429197	0,97

Tabla B2.*Análisis de varianza de altura de las plantas*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	3	578.9	192.97	3.995	0.0703
Bloque	2	135.5	67.75	1.403	0.3164
Residuales	6	289.8	48.31		

Tabla B3.*Prueba de Tukey para la altura media de las plantas según tratamientos*

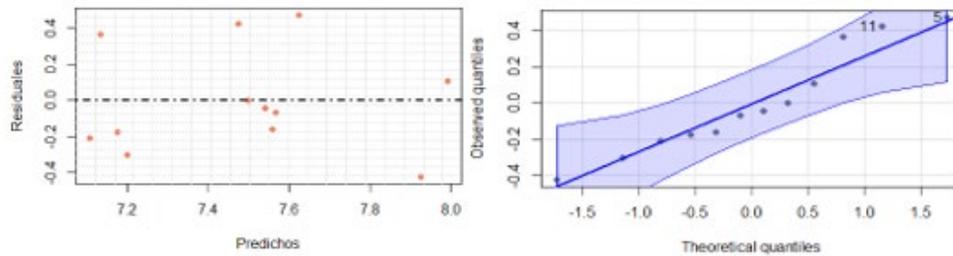
TRATAMIENTO	MEDIA ALTURA (cm)	DE CV	MDS
4	112.7 a	6.8	16.31214
3	104.3 ab		
1	97 ab		
2	95 b		

Tabla B4.*Prueba de Tukey para la altura media de las plantas según tratamientos*

TRATAMIENTO	INTERVALO DE CONFIANZA		
	5%	95%	r ²
1	0.00357	0.0070	0,76
2	0.00360	0.0067	0,74
3	0.00313	0.0067	0,68
4	0.00371	0.0070	0,72

Figura B2.

Corroboración de supuestos: residuales vs predichos y qq plot para nudos opuestos de planta

**Tabla B5.**

Análisis de varianza de nudos alternos

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	3	0.4167	0.1389	0.898	0.495
Bloque	2	0.5117	0.2558	1.654	0.268
Residuales	6	0.9283	0.1547		

Tabla B6.

Intervalo de confianza y r^2 para cada tratamiento para el parámetro nudos alternos

TRATAMIENTO	INTERVALO DE CONFIANZA		r^2
	5%	95%	
1	0.002773617	0.01048446	0,66
2	0.002680267	0.008789996	0,85
3	0.002513789	0.01035705	0,81
4	0.005461941	0.01232378	0,91

Figura B3.

Supuestos: residuales vs predichos y qq plot para nudos alternos de la planta

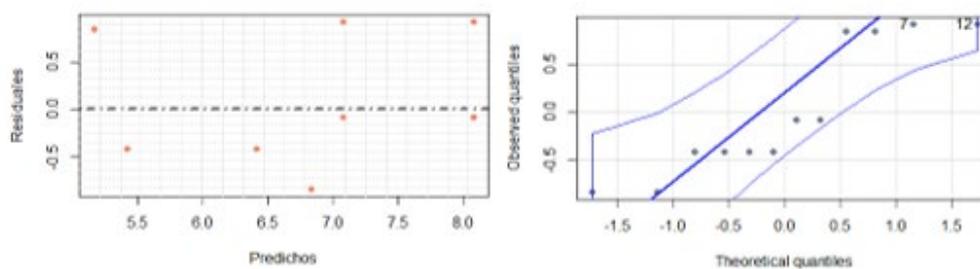


Tabla B6.*Análisis de varianza de nudos alternos*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	3	8.333	2.7778	3.226	0.103
Bloque	2	3.500	1.7500	2.032	0.212
Residuales	6	5.167	0.8611		

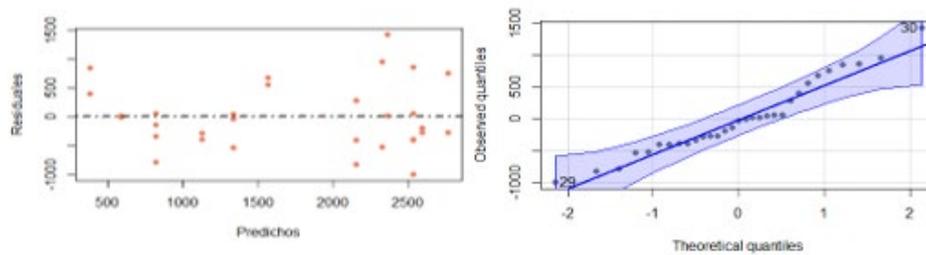
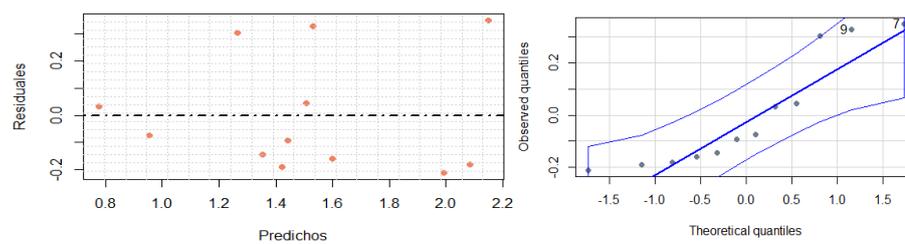
Figura B4.*Supuestos: residuales vs predichos y qq plot para peso fresco de la planta***Figura B5.***Supuestos: residuales vs predichos y qq plot índice de área foliar*

Tabla B7.*Análisis de varianza para el índice de área foliar en los tratamientos*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	3	0,7653	0,2551	3,048	0,114
Bloque	2	1,1510	0,5755	6,876	0.028
Residuales	6	0,5022	0,0837		
