



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria Agroalimentària
i de Biosistemes de Barcelona



Efecto de la tecnología de cultivo en la producción del cáñamo (*Cannabis sativa* L.) orientado a la producción de inflorescencias.

Trabajo Final de Grado en Ingeniería Agrícola

Autora: M^a del Mar Delgado Cáceres

Tutores: Gil Gorchs Altarriba

y Lydia Serrano Porta

Fecha: Enero 2022

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis tutores los profesores Lydia Serrano Porta y Gil Gorchs Altarriba por hacer posible este TFG, y en especial a Gil por haber sido mi guía y estímulo durante la realización y redacción de este trabajo, por haber tenido toda la amabilidad, dedicación y paciencia del mundo, empleando esfuerzo y tiempo fuera de su horario laboral para ayudarme a realizar un trabajo de esta índole.

Agradecer a Miquel Masip Martínez, Dani Fenero Artaso y Frederic González Sabate por su inestimable ayuda durante la realización de la parte práctica de este trabajo.

No quiero desaprovechar la ocasión de agradecer a mi marido, Enrique Cabello, y a mis hijos Cristina, M^a del Mar y Enrique, su apoyo y ánimo continuo durante todos estos años. Ha sido mucho el tiempo de estar con ellos que les he escamoteado para dedicarlo al grado de ingeniería agrícola, que con este TGF ve su fin, tiempo en que he disfrutado aprendiendo las muchas cosas que me ha enseñado no solo a nivel de actitudes y conocimientos, que han sido muchos, si no también de vivencias con todas personas con las que he compartido a lo largo de estos años tiempo, esfuerzo, superación y compañerismo. Sin mi familia, sin su apoyo y comprensión, nunca lo hubiera conseguido, muchas gracias de todo corazón.

Resumen

El cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) se puede utilizar en numerosos campos agroindustriales como la agricultura, textil, biocompuestos, fabricación de papel, construcción, biocombustibles, alimentos funcionales, aplicaciones farmacéuticas, el cuidado personal y la cosmética. Se considera un cultivo de alto rendimiento que necesita pocos insumos ya que no requiere el uso de fitosanitarios para la protección del cultivo, es benigno para el medioambiente y podría suponer una alternativa al uso de los derivados petroquímicos como fuente renovable.

Con este trabajo se pretende evaluar el efecto de la tecnología de cultivo en la producción del cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) en regadío en El Baix Llobregat (área mediterránea típica), y en particular determinar el efecto de la fecha de plantación, la selección varietal y la poda en el vigor de la planta, la producción de biomasa y de inflorescencias, y el contenido de cannabinoides.

Se estudiaron dos clones seleccionados de la variedad comercial Carmagnola, denominadas Carmagnola Sweet Green (en adelante Sg) y Carmagnola Moose (en adelante Mo), en los que se analizaron la influencia de fecha de plantación y el tipo de poda.

En la cosecha se determinó el rendimiento de biomasa fresca y biomasa e inflorescencia seca a temperatura y humedad ambiental, y en estufa, además de la altura y superficie ocupada por la planta, entre otros parámetros. La concentración de cannabinoides en la inflorescencia se determinó por cromatografía líquida de alta precisión (HPLC).

Los resultados obtenidos en este TFG indican que la fecha de plantación, y la selección de la planta madre para la obtención del plantel, son las variables que tuvieron un mayor efecto sobre el vigor de la planta y la producción de biomasa e inflorescencias de cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) en regadío en el Baix Llobregat.

En cuanto a los niveles de cannabinoides es necesario realizar un mayor número de análisis que nos permita sacar algún resultado concluyente.

Palabras clave:

Cannabis sativa L., Cultivar, Poda, Fecha plantación, Rendimiento, Cannabinoides.

Resum

El cànem industrial (*Cànnabis sativa* L.) es pot utilitzar en nombrosos camps agroindustrials com l'agricultura, tèxtil, biocompostos, fabricació de paper, construcció, biocombustibles, aliments funcionals, aplicacions farmacèutiques, la cura personal i la cosmètica. Es considera un cultiu d'alt rendiment que necessita pocs insums ja que no requereix l'ús de fitosanitaris per a la protecció del cultiu, és benigne per al medi ambient i podria suposar una alternativa a l'ús dels derivats petroquímics com a font renovable.

Amb aquest treball es pretén avaluar l'efecte de la tecnologia de cultiu en la producció del cànem industrial (*Cannabis sativa* L.) en regadiu al Baix Llobregat (àrea mediterrània típica), i en particular determinar l'efecte de la data de plantació, selecció varietal i la poda al vigor de la planta, la producció de biomassa i d'inflorescències, i el contingut de cannabinoides.

Es van estudiar dos clons seleccionats de la varietat comercial Carmagnola, anomenades Carmagnola Sweet Green (d'ara endavant Sg) i Carmagnola Moose (d'ara endavant Mo), en què es van analitzar la influència de data de plantació i el tipus de poda. A la collita es va determinar el rendiment de biomassa fresca i biomassa i inflorescència seca a temperatura i humitat ambiental i en estufa, a més de l'alçada i superfície ocupada per la planta, entre altres paràmetres. La concentració de cannabinoides a la inflorescència es va determinar per cromatografia líquida d'alta precisió (HPLC).

Els resultats obtinguts en aquest TFG indiquen que la data de plantació, i la selecció de la planta mare per a l'obtenció del planter, són les variables que van tenir un efecte més gran sobre el vigor de la planta i la producció de biomassa i inflorescències de cànem industrial (*Cannabis sativa* L.) en regadiu al Baix Llobregat.

Pel que fa als nivells de cannabinoides cal fer un major nombre d'anàlisi que ens permeti treure'n algun resultat conclouent.

Paraules clau:

Cannabis sativa L., Cultivar, Poda, Data plantació, Rendiment, Cannabinoids.

Abstract

Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) can be used in numerous agroindustrial fields such as agriculture, textiles, biocomposites, paper manufacturing, construction, biofuels, functional foods, pharmaceutical applications, personal care and cosmetics. It is considered a high-yielding crop that needs little input as it does not require the use of pesticides for crop protection, is environmentally benign and could provide an alternative to the use of petrochemical derivatives as a renewable source.

This study intends to evaluate the impact of cultivation technology on the production of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivated in irrigated lands in El Baix Llobregat (typical Mediterranean area) and in particular to determine the effect of the plantation date, the varietal selection and the pruning on plant vigour, the biomass and inflorescence production, and the cannabinoid content.

Two selected clones of the commercial varieties Carmagnola, named Carmagnola Sweet Green (Sg) and Carmagnola Moose (Mo), were studied and the influence of planting date and pruning type were analysed

At harvest, the yield of fresh biomass, the dry biomass and inflorescence at ambient temperature and humidity and in the oven were determined, as well as the height and surface area occupied by the plant, among other parameters. The concentration of cannabinoids in the inflorescence was determined by high performance liquid chromatography (HPLC).

The results obtained in this TFG indicate that the planting date and the selection of the mother plant to obtain the seedling are the variables that had the greatest effect on the vigour of the plant and in the production of biomass and inflorescences of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) in irrigated lands in Baix Llobregat.

As for the levels of cannabinoids, it is necessary to carry out a greater number of analyses to obtain conclusive result.

Key words:

Cannabis sativa L., Cannabinoids, Cultivars, Pruning, Planting date, Yield.

Índice

1. Introducción.....	8
1.1. Antecedentes.....	11
2. Objetivos.....	12
3. Materiales y Métodos.....	12
3.1. Ubicación del ensayo.....	12
3.2. Suelo, clima y meteorología.....	13
3.2.1 Análisis del suelo.....	13
3.2.2. Clima y meteorología de la campaña.....	14
3.3. Diseño experimental y Tratamientos.....	17
3.4. Tecnología de cultivo.....	18
3.4.1. Trabajo del suelo.....	18
3.4.2. Sistema de riego y preparación del ensayo.....	18
3.4.3. Material vegetal.....	18
3.4.4. Tratamientos fitosanitarios y observación de plagas.....	19
3.4.5. Poda.....	19
3.5. Determinaciones.....	20
3.5.1. Contenido de agua.....	20
3.5.2. Partición de la biomasa y rendimiento.....	20
3.5.3. Contenido en cannabinoides.....	21
3.6. Análisis estadístico.....	21
4. Resultados y discusión.....	21
4.1. Rendimiento de biomasa fresca, y biomasa seca e inflorescencia secada en estufa.....	21
4.2. Superficie ocupada y robustez de la planta.....	26
4.3. Proporción de materia seca en la biomasa secada al aire (MSa) y en la secada en estufa (MSe).....	27
4.4. Proporción de inflorescencia y de tallo en la biomasa secada en estufa.....	28
4.5. Relación entre el vigor y el rendimiento de biomasa e inflorescencia.....	29
4.6. Contenido de cannabinoides.....	32
5. Conclusiones.....	34
6. Bibliografía.....	36
Anejos.....	40
Anejo A: Análisis del suelo de la parcela de ensayo en Agrópolis.....	40

Índice de figuras.

Figura 1. Localización de la parcela donde se realizó el ensayo en Agrópolis (A).	13
Figura 2. Análisis del suelo del campo de ensayo en Agrópolis.....	13
Figura 3. Diagrama ombrotérmico de El Prat de Llobregat.	14
Figura 4: Temperatura máxima, mínima y media diaria registrada durante el ciclo de cultivo.	15
Figura 5: Humedad relativa diaria máxima, mínima y media registradas durante el ciclo de cultivo.....	15
Figura 6: Precipitación acumulada diaria, en mm, durante el ciclo de cultivo.	16
Figura 7: Irradiación global diaria (MJ/m ²) durante el ciclo de cultivo del cáñamo.	16
Figura 8: Velocidad escalar del viento a 2 m expresada en m/s, durante el ciclo de cultivo del cáñamo....	17
Figura 9: Diseño inicial de la parcela de cultivo del cáñamo.	18
Figura 10. Rendimiento biomasa seca (kg/ha) en función de la fecha de plantación y de la variedad.....	23
Figura 11. Rendimiento biomasa seca (kg/ha) en función de la fecha de plantación y el tipo de Poda	24
Figura 12. Rendimiento inflorescencias secas (kg/ha) en función de la Fecha de Plantación y el tipo de Poda	25
Figura 13. Rendimiento inflorescencias secas (kg/ha) en función de la Fecha de Plantación (FP) y la Variedad.	25
Figura 14. Proporción de inflorescencia (%) en la biomasa seca en estufa en función de la fecha de plantación (FP), la variedad (V) y el tipo de poda realizada (P).	28
Figura 15. Proporción de tallo (%) en la biomasa seca en estufa en función de la fecha de plantación (FP), la variedad (V) y el tipo de poda realizada (P).	29
Figura 16. Relación entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de biomasa fresca para las variedades Mo y Sg en conjunto y por separado.....	31
Figura 17. Relación entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de la biomasa seca en estufa para las variedades Mo y Sg, en conjunto y por separado	31
Figura 18. Relación entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de inflorescencia seca en estufa para las variedades Mo y Sg en conjunto y por separado.	32

Índice Tablas

Tabla 1. Rendimiento de biomasa fresca (kg/ha), biomasa seca (kg/ha), y Inflorescencia seca (kg/ha) en función de la fecha de plantación, la variedad y el tipo de poda realizada.....	22
Tabla 2. Superficie ocupada por la planta (m ²) y robustez (g MS/cm) en función de la fecha de plantación, la variedad y el tipo de poda realizada..	26
Tabla 3. Proporción (%) de materia seca en la biomasa fresca secada al aire (MSa), secada en estufa (MSe) y diferencia entre ambas, según la fecha de plantación, la variedad y el tipo de poda.	27
Tabla 4. Coeficientes de correlación entre altura (cm), ocupación de la línea (%), superficie ocupada por la planta (m ²) y robustez (g/cm) con rendimiento de biomasa fresca (Bf) y rendimiento de biomasa (BSe) e Inflorescencia seca en estufa (ISe) para las variedades Mo y Sg en conjunto y por separado.....	30
Tabla 5. Contenido en cannabinoides en las plantas de la variedad Sg del 30 de junio y 14 de julio.....	32

Lista de abreviaturas y símbolos

ANOVA: Análisis de Varianza

CBD (Cannabinoides): Cannabidiol.

CBG (Cannabinoides): Caannabigerol.

HPLC: High Performance Liquid Chromatography

THC (Cannabinoides): Δ -9-Tetrahydrocannabinol.

1. Introducción

El cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) es un cultivo herbáceo anual originario de Asia Central considerado como uno de los cultivos más antiguos conocidos por el hombre (Yang, X.Y., 1991) como fuente de papel y fibra textil, (Bennet et al., 2006) que alcanzó una especial importancia durante los siglos XVI y XVIII disminuyendo su uso de forma gradual en años posteriores, (Liberalato, D. 2003). Las primeras pruebas escritas del uso de marihuana como tratamiento médico provienen de escritos chinos en el siglo 27 a.C. (McKenna, G.J. 2014). Se cultiva tradicionalmente en muchas regiones de Europa por su producción de fibra (Amaducci et al., 2015) y actualmente se está replanteando su utilización en el tratamiento de numerosas alteraciones médicas.

La búsqueda de materias primas alternativas a los derivados petroquímicos ha originado una tendencia creciente de uso de productos vegetales como fuentes renovables. Desde un punto de vista agronómico, el cáñamo se considera un cultivo de alto rendimiento que requiere pocos insumos técnicos (Struik et al., 2000; Amaducci et al., 2015; Van der Werf 1994) y por lo tanto no afecta negativamente al medio ambiente (Finnan, J. y Styles, G. 2013) siendo posible su cultivo en fincas convencionales sin utilizar agroquímicos para el control de malezas, plagas y enfermedades (Baxter y Scheifele 2000; Carus et al., 2013). Incluso, algunos residuos de cáñamo industrial pueden usarse como insecticidas botánicos dentro de programas de manejo de plagas en agricultura orgánica (Benelli et al., 2018).

El resurgimiento del interés del cultivo de cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) como cultivo polivalente para aplicaciones no textiles, ha ido surgiendo en Europa debido a la multitud de productos finales obtenidos de los diferentes órganos de la planta, (Ranalli y Venturi 2004). De hecho, el cáñamo se puede utilizar en numerosos campos agroindustriales como la agricultura, los textiles, los biocompuestos, la fabricación de papel, la construcción, los biocombustibles, los alimentos funcionales, el cuidado personal y la cosmética (Salentijn et al., 2015). El crecimiento rápido y sostenible así como la versatilidad del cáñamo supone una gran ventaja cuando su cultivo se utiliza para usos alternativos como la extracción de metabolitos secundarios con fines farmacéuticos, medicinales y de investigación, (Medicines Control Council, MCC, 2017), o para desarrollar numerosos productos que pueden elaborarse a partir de la celulosa de alta calidad contenida en los tallos, Lash (2002), de los valiosos aceites esenciales y resinas que se encuentran en las inflorescencias, o a partir de las proteínas de alta calidad y aceites contenidos en las semillas (Carus et al., 2013).

Las ventajas de este cultivo para la agricultura no se relacionan exclusivamente con su amplia gama de productos y aplicaciones, sino también con el impacto ambiental positivo relacionado con su cultivo (Amaducci et al., 2015), especialmente por su capacidad de adaptación a diferentes situaciones abióticas de estrés (Huaran et al., 2019; Cheng et al., 2016; Hu et al., 2018) entre otros.

El cáñamo industrial es un cultivo de rotura excelente que puede mejorar la estructura del suelo debido a su extenso sistema de raíces (Amaducci et al., 2008a), reducir la presión de las malezas y aumentar el rendimiento del cultivo subsiguiente (Bósca, I. y Karus, M. 1997). Sus características agrícolas y su gran potencial como cultivo alternativo de rotación podrían mejorar la sostenibilidad

agronómica y económica de los agricultores (Finnan, J. y Styles, D. 2013). Así mismo la resistencia a la sequía y las plagas, el buen desarrollo del sistema radicular que previene la erosión del suelo, la menor necesidad de agua con respecto a otros cultivos y la capacidad de aumentar la productividad del cultivo en combinación con otros (Gorchs et al., 2006) han animado a la comunidad científica a centrar los estudios en la bioquímica y la ingeniería genética del cannabis.

A pesar de la amplia gama de condiciones agroecológicas en las que se puede cultivar con éxito el cáñamo, requiere una especial atención en algunos parámetros fisiológicos (como el tiempo de siembra, dosis de riego o densidad de planta, entre otros), el manejo del cultivo y la selección óptima de la mayoría cultivares adaptados en relación con el área de cultivo (Cosentino et al., 2012). En este sentido, este cultivo tiene una alta susceptibilidad a la temperatura del aire y al fotoperiodo, determinando directamente el punto de inicio de la etapa de floración como señalan Amaducci et al. (2008a, b). Existe un equilibrio entre el punto de inicio de la floración y la capacidad de la planta para acumular materia seca, cuando las plantas comienzan la producción de las flores detienen el crecimiento longitudinal (Struik et al., 2000).

En relación con los requerimientos de temperatura del cáñamo, su cultivo en las condiciones de la cuenca mediterránea debe desarrollarse durante el final de la primavera y el verano, periodo caracterizado por precipitaciones escasas (o nulas). Temperaturas altas y baja humedad relativa del aire promueven altos valores de déficit de presión de vapor lo que requiere prácticas de riego, como destacan Amaducci et al. (2008c).

En esta situación, el cultivo de cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) principalmente con el fin de fabricar productos terapéuticos derivados de cannabinoides no psicotrópicos y otros metabolitos secundarios con interesantes aplicaciones en medicina (Zuardi, A.W., 2006) ha supuesto un gran cambio de la industria del *Cannabis sativa* L. en los últimos años.

Tanto la marihuana como el cáñamo industrial de donde se obtiene la fibra de cáñamo son *Cannabis sativa* L., la diferencia está en su quimiotipo, aquellos cultivares que producen una cantidad utilizable de Δ -9-tetrahidrocannabinol (THC), responsable de sus propiedades psicoactivas, son controlados legalmente (Hughes, B. 2017). Los tratados internacionales requieren que este cultivo esté controlado por las leyes nacionales sobre drogas. Mientras que en algunos países de Europa como Suiza e Italia permiten el cultivo de cultivares con una cantidad de THC inferior al 1%, en España solo se permite el uso de cultivares tipo cáñamo con una concentración de THC en flor inferior al 0,2% (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1999).

La regulación y la legalización del cáñamo en algunos países ha producido un efecto de reacción en cadena donde cada vez más países están tratando de legalizar el consumo y el cultivo. Es importante señalar que las variedades de cáñamo de fibra son elegibles para el cultivo solo después de la verificación de su contenido recomendado por el Reglamento CE nº. 1124/2008 (12 de noviembre de 2008) de Δ -9-tetrahidrocannabinol (THC), que es un componente fitoquímico de fármacos. Este desarrollo ha permitido que las universidades y las empresas comiencen a investigar con menos problemas sobre todo los relacionados con la burocracia asociada. También las grandes empresas han comenzado a desempeñar un papel importante en el procesamiento del material vegetal y el control de la elaboración de productos a base de cáñamo.

La producción de flores en *Cannabis sativa*, L., no se ha visto como un parámetro agronómico que deba maximizarse en la agricultura tradicional, lo que ha supuesto una escasa investigación respecto a la producción y el muestreo para el análisis de cannabinoides y la distribución de estos en la planta.

Además de la producción de fibra de cáñamo, existe un interés creciente en el cultivo de cáñamo industrial para otros fines, como utilizar sus semillas para la producción de harina y aceite alimentario (Mihoc et al., 2012) y su inflorescencia para extraer aceites esenciales (Bertoli et al., 2010).

En cuanto a los estudios realizados sobre el contenido de cannabinoides, resina, aceite esencial de la inflorescencia y aceite de la semilla de *C. sativa* y sus diferentes productos, cabe destacar los realizados por Brenneisen y ElSohly (1988); ElSohly y Slade (2005); Kriese et al. (2004); Leizer et al. (2000) y Turner et al. (1980).

Mediavilla y Steinemann, (2005); Meijer (1998) y Thomas et al. (2000), consideraron al aceite esencial de cáñamo como un producto de alto valor con un potencial de marketing especializado prometedor. Este aceite es una mezcla compleja de muchos compuestos volátiles, principalmente monoterpenos, sesquiterpenos y otras sustancias similares a los terpenoides (Fournier, G. y Paris, M.R. 1978; Novak, J. y Franz, C. 2003). Los monoterpenoides son los principales responsables de las diferencias de fragancia entre los cultivares de cáñamo. Los sesquiterpenoides también son componentes característicos, pero generalmente se encuentran en cantidades más bajas en comparación con los monoterpenos (Hendriks et al., 1975; Hillig, K.W.A. 2004); Lemberkovics et al., 1981; Ross, S.A. y ElSohly, A. 1996).

El aceite esencial de cáñamo se biosintetiza en las glándulas epidérmicas o los pelos glandulares donde se producen los cannabinoides (Kim, E.S. y Mahlberg, P. 1981; Malingrè et al., 1975). Además, los compuestos cannabinoides se pueden hidrodestilar junto con los componentes terpénicos en el aceite esencial.

Los metabolitos secundarios (cannabinoides, terpenoides y polifenoles) se producen en todas las partes aéreas de la planta, principalmente en las hojas e inflorescencias femeninas. Son compuestos sintetizados en los tricomas glandulares resinosos, y su producción está directamente relacionada con el quimiotipo de la planta, condiciones de crecimiento y estado fenológico de las plantas cosechadas (de Meijer et al., 2003d; Potter, D. 2009).

La concentración de cannabinoides en los diferentes tejidos de la planta no es uniforme y depende de la ubicación, existiendo un gradiente a través de la planta. El mayor contenido de cannabinoides se encuentra en la fracción apical, tanto en las inflorescencias como en sus hojas (Bernstein et al., 2019), disminuyendo a medida que descendemos por el tallo de la planta.

La densidad más alta de pelos glandulares se encuentra en la bráctea que rodea a cada flor femenina y los folíolos subyacentes de la inflorescencia femenina (Hemphill et al., 1980; Lanyon et al., 1981). Cuando las inflorescencias femeninas frescas se secan, se observa una mayor pérdida de monoterpenoides que de sesquiterpenoides, pero ninguno de los componentes principales del aceite esencial desaparece por completo (Ross, S.A. y ElSohly, A. 1996).

La mayoría de los estudios sobre la producción de aceites esenciales se han realizado para la selección de cepas del tipo farmacológico de *C. sativa* (Mediavilla, V. y Steinemann, S. 2005; Novak et al., 2001; Novak, J. y Franz, C. 2003), habiéndose investigado menos sobre el aceite esencial extraído de las inflorescencias de cultivares de tipo fibra de *C. sativa*.

Nissen et al., en 2009 caracterizaron los aceites esenciales de tres variedades legales de cáñamo por su actividad antimicrobiana in vitro, evidenciando interesantes perspectivas como agentes antibacterianos alternativos.

El cultivo de genotipos apropiados para un uso final específico adaptado a un entorno dado es esencial para lograr una ventajosa cosecha de cáñamo (Tang et al., 2016). Además, es importante evaluar la fenología del cáñamo para proporcionar a los agricultores información de apoyo a las decisiones sobre las prácticas de cultivo. De hecho, la fenología del cáñamo está asociada al fotoperíodo y se pueden obtener diferentes rendimientos en un ambiente específico debido a la sensibilidad de varios genotipos (Amaducci et al., 2015). Hoy en día, las preocupaciones ambientales y la producción multipropósito han despertado un renovado interés en el cáñamo industrial. Sin embargo, hay poca información agronómica para respaldar el cultivo de cáñamo (Tang et al., 2016).

No obstante, hay pocos estudios que comparen el desempeño de los genotipos comerciales actuales de cáñamo industrial (Tang et al., 2016) y hay poca información disponible con respecto a las prácticas agronómicas (Blade, S.F. 1998).

1.1. Antecedentes

Este TFG se enmarca en un proyecto mayor cuyo objetivo principal es promover un sector como el del cannabis que puede convertirse en uno de los motores de la economía europea en los próximos años, aglutinando los agentes de toda la cadena de valor.

Estudios y ensayos previos llevados a cabo en la UPC bajo la dirección de Lydia Serrano y Gil Gorchs, mediante un convenio con la empresa Biobizz® Worldwide S.L han esclarecido diferencias en la producción de biomasa en función del régimen de fertilización aplicado.

En la primera fase del convenio con la empresa Biobizz® Worldwide S.L, en junio de 2018 se desarrollaron una serie de pruebas donde se evaluó la eficacia de un plan de fertirrigación de nutrientes de rango completo de Biobizz en comparación con un tratamiento de control, demostrando la eficacia de sus productos al obtener diferencias estadísticamente significativas entre el uso de nutrientes o solo agua en términos de producción de biomasa y contenido de cannabinoides (THC y CBD).

En base a estos resultados se diseñó un segundo experimento para evaluar la eficacia de los dos fertilizantes principales de Biobizz comparando la gama completa de nutrientes para proporcionar a las empresas un programa de nutrientes alternativo y más sencillo. Sin embargo, los resultados no mostraron diferencias significativas entre usar solo los dos fertilizantes principales y el

programa completo de nutrientes, por lo que la compañía desarrolló un bioestimulante a base de microbios para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes de sus productos.

El primer exponente de este proyecto fue el TFG presentado por Alfred Castillejo Bermejo en junio de 2020 que consistía en evaluar las respuestas fisiológicas y químicas del cannabis a los tratamientos destinados a mejorar la absorción de fósforo.

Su trabajo denominado “Effect of Phosphorus-Mobilizing Bacteria on hemp (*Cannabis sativa* L.) no llega a una conclusión clara sobre el efecto que produce la adición de PMB (Phosphorus Mobilizing Bacteria) o la corrección del pH de la solución nutritiva. Así mismo, concluye que no se puede establecer ningún patrón ni en tasa de crecimiento, ni en la eficiencia fotosintética, ni en la producción de biomasa o concentración de cannabinoides.

El trabajo realizado por el Alfred Castillejo con Biobizz da paso a la colaboración entre la UPC-BarcelonaTech (UPC) y la empresa Valenveras, que dio lugar a la creación del Cannabis Hub, presentado oficialmente el pasado 25 de marzo del 2021.

El Cannabis Hub pretende ser un punto de encuentro entre empresas, organizaciones e instituciones con el objetivo de impulsar el conocimiento del cannabis mediante la investigación, la innovación y la formación.

2. Objetivos.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el efecto de la tecnología de cultivo en la producción del cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) en regadío en El Baix Llobregat (área mediterránea típica).

En particular, se pretende determinar el efecto de la fecha de plantación, la selección varietal y la poda en:

- El vigor de la planta.
- La producción de biomasa y de inflorescencias.
- El contenido de cannabinoides.

3. Materiales y Métodos

3.1. Ubicación del ensayo.

El ensayo se realizó en una parcela con orientación norte-sur del centro de la UPC Agrópolis, situado en Viladecans, Camí de les Filipines 110, 08840, cerca del aeropuerto de El Prat de Llobregat, Barcelona (41.289032, 2.043360) (**Figura 1**), entre el 30 de junio y finales de septiembre de 2020.



Figura 1. Localización de la parcela donde se realizó el ensayo en Agrópolis (A).

3.2. Suelo, clima y meteorología.

3.2.1 ANÁLISIS DEL SUELO.

Se realizaron análisis del suelo antes de plantar. Así mismo, se monitorizaron las temperaturas durante todo el cultivo mediante un sensor ubicado en el campo. Finalmente se controló el agua de riego usada durante el cultivo.

El análisis de suelo fue realizado por Eurofins Agroambiental, S.A. obteniendo los resultados que se muestran en la **Figura 2**.

Análisis	Resultados	Unidades	Método de análisis / PNT	Interpretación
HUMEDAD 105°C	<1,000	%	Gravimetría/C5110007	
pH (ext. 1:2.5 H2O)	8,8		Potenciometría/C5110008	Ligéramente alcalino
COND.ELEC. 25°C(ext. 1:5 H2O)	0,224	dS/m	Conductimetría/c55110009	No limitante
MAT.ORGÁNICA (W&B)	1,35	% s.m.s	Cálculo/C5110079	Baja
CARBONATO CÁLCICO EQUIV.*	41	% s.m.s	Titulación potenciométrica	Muy calcáreo
NITRÓGENO-NÍTRICO (N-NO3)	10,5	mg/kg s.m.s.	Espectrofotometría UV-Vis/C5110272	Normal
FÓSFORO (P) (OLSEN)	21	mg/kg s.m.s.	Espectrofotometría UV-Vis/C5110080	Normal
POTASIO (K)(ext. acetato amónico)*	486	mg/kg s.m.s.	Espectrofotometría ICP-OES	Muy alto
CALCIO (Ca)(ext. acetato amónico)*	6913	mg/kg s.m.s.	Espectrofotometría ICP-OES	Alto
MAGNESIO (Mg)(ext. acetato amónico)*	335	mg/kg s.m.s.	Espectrofotometría ICP-OES	Alto
SODIO (Na)(ext. acetato amónico)*	123	mg/kg s.m.s.	Espectrofotometría ICP-OES	Normal-Alto
ARENA TOTAL (0,05<D<2 mm)*	27,7	%	Gravimetría	
LLIM GROS (0,02<D<0,05 mm)*	16	%	Gravimetría	
LIMO FINO (0,002<D<0,02mm)*	17,7	%	Gravimetría	
ARCILLA (D<0,002 mm)*	38,6	%	Gravimetría	
CLASE TEXTURAL USDA*				Franco-arcillosa

Figura 2. Análisis del suelo del campo de ensayo en Agrópolis.

Nuestro suelo presenta una clase textural USDA Franco-arcillosa, con un pH ligeramente alcalino, una conductividad eléctrica no limitante, bajo contenido en materia orgánica y alto contenido en carbonatos totales.

En cuanto al contenido de nutrientes presenta valores normales de Nitrógeno-Nítrico, Fósforo y Sodio, valores altos en Calcio y Magnesio, y muy altos en Potasio.

Los análisis edáficos se muestran en el Anejo (Anejo A).

3.2.2. CLIMA Y METEOROLOGÍA DE LA CAMPAÑA.

El clima de Viladecans es Mediterráneo típico, con una temperatura media anual de 16,1°C, heladas ocasionales y una media anual de 2.540 h de sol (347 h de noviembre a enero). La precipitación anual media es de 588 mm, siendo mínima al inicio de verano y máxima al inicio de otoño (**Figura 3**).

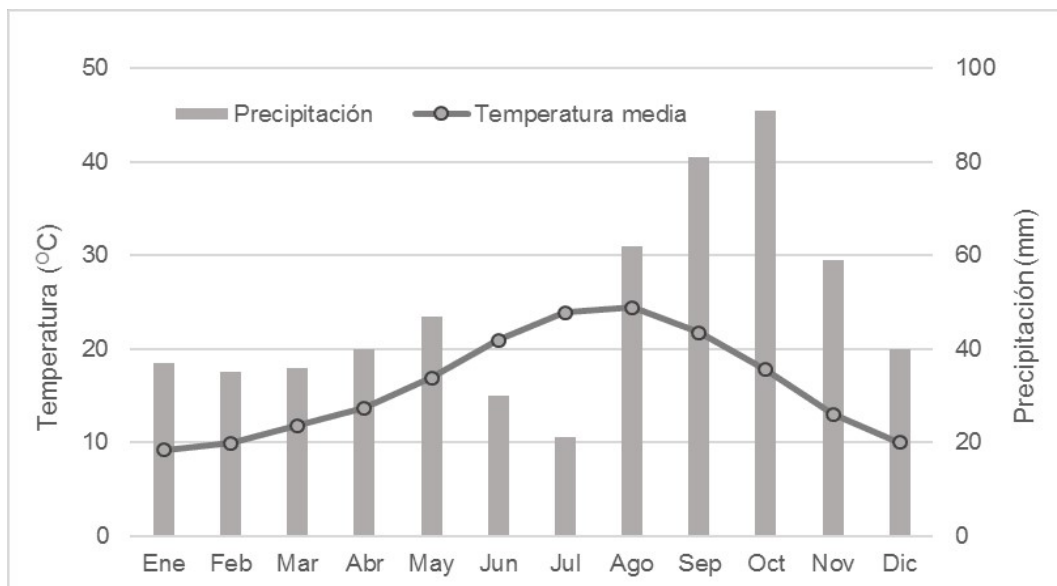


Figura 3. Diagrama ombrotérmico de El Prat de Llobregat (Aeropuerto: 41° 17' N, 2° 02' E, 4 m s.n.m.; situada a 2,4 km de Agròpolis) para el periodo 1981-2010 (AEMET).

La temperatura media diaria durante la campaña fue de 23,85°C, oscilando entre los 8,5°C del 27-09-20, y la máxima diaria de 33,9°C el 9 de agosto.

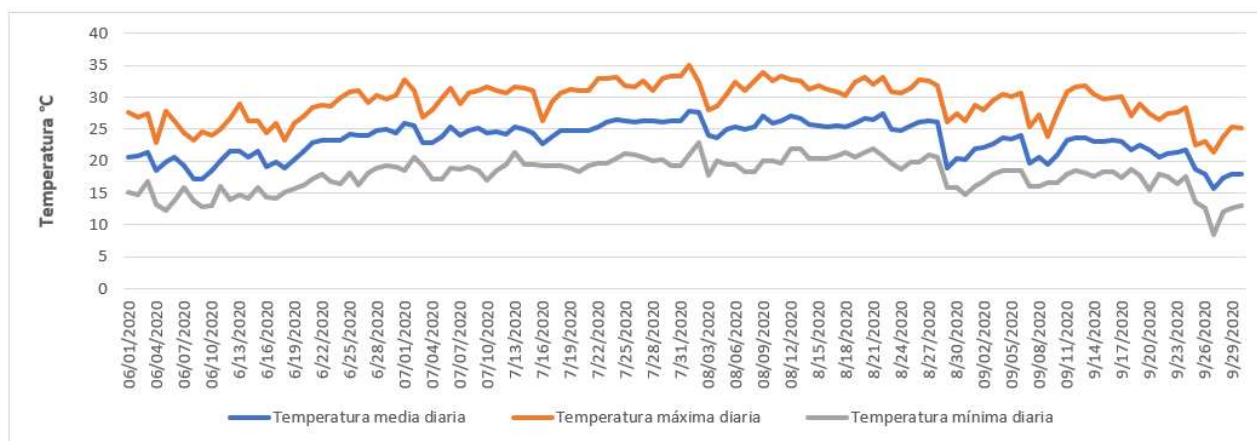


Figura 4: Temperatura máxima, mínima y media diaria registrada durante el ciclo de cultivo. (AEMET)

La humedad relativa diaria media fue 74,5% con una máxima 99% registrada el 22 de septiembre.

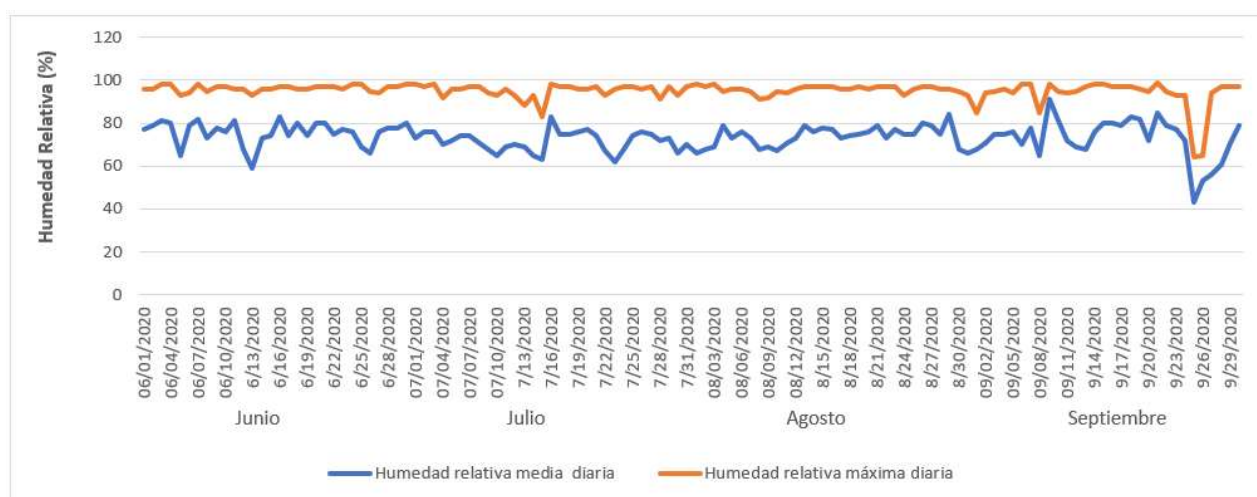


Figura 5: Humedad relativa diaria máxima, mínima y media registradas durante el ciclo de cultivo. (AEMET)

Durante el periodo de cultivo hubo un único período importante de precipitaciones entre el 6 y el 9 de septiembre con una precipitación acumulada de 104,4 mm, tal y como se aprecia en la **Figura 6**.

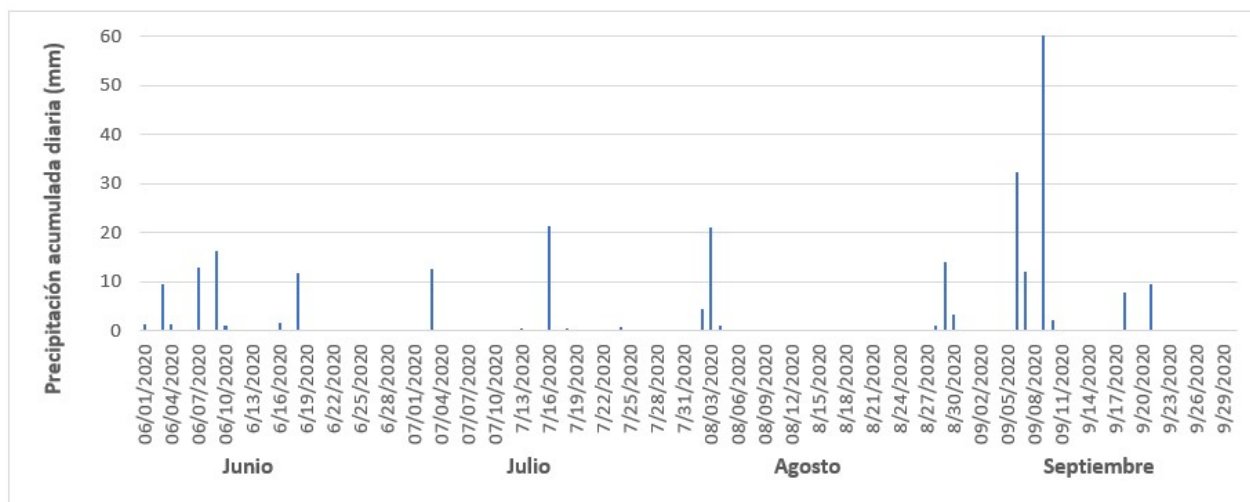


Figura 6: Precipitación acumulada diaria, en mm, durante el ciclo de cultivo. (AEMET)

En cuanto a la irradiación solar global diaria (MJ/m^2) osciló entre los $7,9 \text{ MJ}/\text{m}^2$ del 9 de septiembre y los $30,1 \text{ MJ}/\text{m}^2$ del 5 de julio.

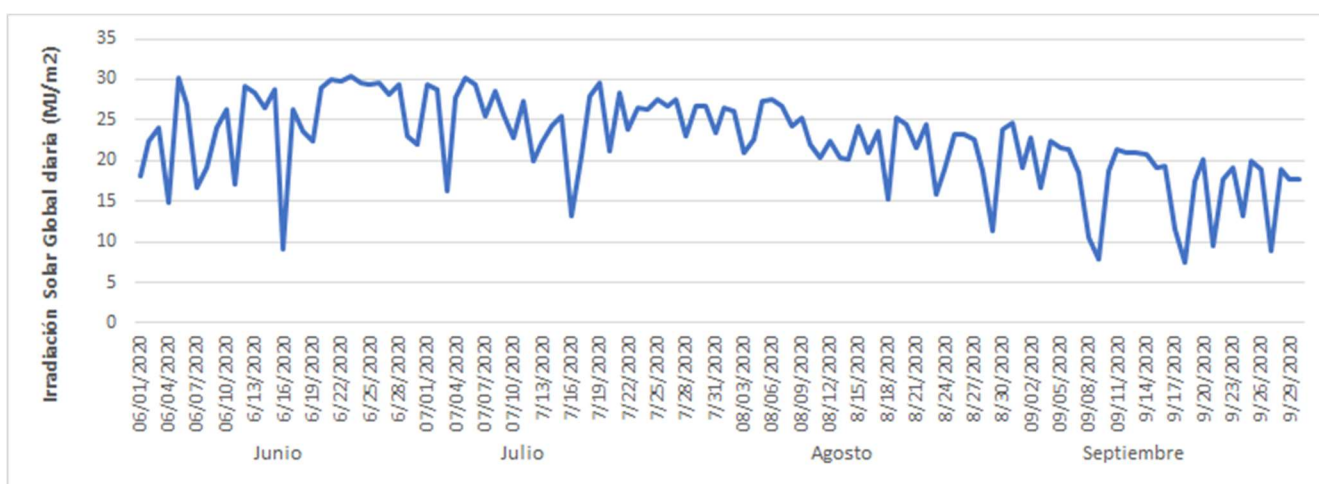


Figura 7: Irradiación global diaria (MJ/m^2) durante el ciclo de cultivo del cáñamo. (AEMET)

La velocidad escalar del viento, a 2 m en m/s , osciló entre $3,3 \text{ m}/\text{s}$ el 25 de septiembre y menos de $1 \text{ m}/\text{s}$ el 16 y 17 de septiembre tal y como se muestra en la **Figura 8**.

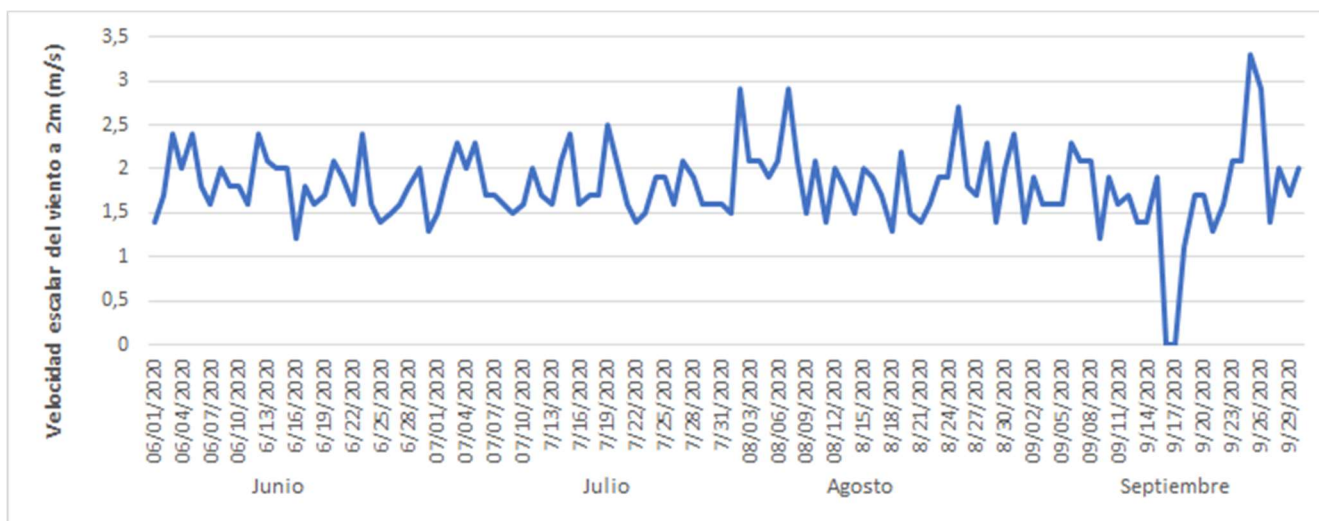


Figura 8: Velocidad escalar del viento a 2 m expresada en m/s, durante el ciclo de cultivo del cañamo. (AEMET)

3.3. Diseño experimental y Tratamientos.

El diseño experimental incluyó 3 repeticiones con 6 plantas (réplicas) por repetición (18 plantas en total por tratamiento). Los factores estudiados fueron:

- La fecha de plantación, con 3 niveles: 30 de junio, 7 de julio i 14 de julio.
- El material vegetal, con 2 niveles: dos clones seleccionados de la variedad comercial Carmagnola, denominadas Carmagnola Sweet Green (Sg) y Carmagnola Moose (Mo), que en adelante denominaremos variedades Sg y Mo, respectivamente.
- La poda, con 3 niveles: control (sin poda), poda apical (Pa) y poda baja (Pb).

En total, el ensayo estaba formado por 324 plantas (18 plantas para 3 fechas de plantación, por 2 variedades y por 3 tipos de poda), aunque en la práctica se implantaron plantas en exceso (entre 65 y 80 por variedad y fecha de plantación, unas 420 plantas en total) para sustituir posibles fallos. El área total ocupada por el ensayo fue de unos 960 m².

Diseño de la parcela:

En la **Figura 9** se muestra el diseño donde 30 de junio, 7 y 14 de julio son las fechas en las que realizó la plantación, Sg y Mo son las dos variedades estudiadas y C, Pa y Pb son los diferentes tipos de poda a los que se sometieron las plantas, siendo C las plantas control, sin poda, Pa, las plantas a las que se les realizó poda alta y Pb las sometidas a poda baja.

Fecha de plantación	V	Tipo de poda	Tipo de poda	Tipo de poda	Tipo de poda	Tipo de poda	Tipo de poda	
30 junio	Sg	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	
	Mo	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	
7 julio	Sg	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	
	Mo	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	
14 julio	Sg	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	
	Mo	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	C Pa Pb	
60 mts								12 mts

Figura 9: Diseño de la parcela de cultivo del cáñamo. V es la variedad Sg o Mo, y C (control sin poda), Pa (Poda alta) y Pb (Poda baja) el tipo de poda al que se sometió a las plantas.

3.4 Tecnología de cultivo

3.4.1. TRABAJO DEL SUELO

La parcela donde se realizó en ensayo se sembró en febrero con veza y avena a modo de cultivo de abono en verde, que se incorporó al suelo a finales de mayo.

El 5 de junio se esparció un remolque de 20 m³ de estiércol de oveja, tras el que se realizaron dos pasadas cruzadas de chisel y se afinó con una pasada de fresa.

A fin de retener la humedad y prevenir y eliminar malas hierbas y plagas, el 25 de junio se instaló el acolchado eco de 60 galgas de Castillo Arnedo (plástico negro biodegradable), cubriéndose un ancho de 90 cm de la superficie de cultivo en todas las líneas de plantación.

3.4.2. SISTEMA DE RIEGO Y PREPARACIÓN DEL ENSAYO.

El riego se realizó mediante cinta de riego tipo T-Tape, de Toro de 16 mm de diámetro y goteros cada 20 cm, que dan un caudal de 1,14 l/h a 0,7 bar.

Antes de plantar se realizó un primer riego de 3 horas de 5,8 l x h x m para humidificar el suelo y facilitar la implantación.

El cultivo se regaba 3 veces por semana, 1,5 h hasta la instalación de los tensiómetros de Copersa, momento a partir del cual sólo se regaba una hora cuando los tensiómetros marcaban 20 kPa.

3.4.3. MATERIAL VEGETAL

El material vegetal utilizado fue suministrado por Cannaveras, obtenido por multiplicación vegetativa a partir de la selección de dos plantas hembra de la variedad comercial Carmagnola, denominadas Carmagnola Sweet Green (Sg) y Carmagnola Moose (Mo).

La variedad Carmagnola tiene un contenido en THC inferior al 0,2% y está registrada en el “Catálogo común de especies agrícolas de la UE” (EU 1307/2013). Las dos variedades se seleccionaron por el bajo contenido en THC y alto contenido en CBD, entre otros cannabinoides.

Las plantas suministradas por CANNAVERAS en tacos de 2,5 cm, fueron producidas por multiplicación vegetativa a partir de esquejes obtenidos 15 días antes de cada fecha de plantación, según el diseño experimental explicado con anterioridad. El número de plantas requeridas en cada fecha de plantación y variedad fue de 54 plantas (324 en total). Se plantó una planta cada metro utilizando un plantador manual en líneas separadas 2m.

3.4.4. TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS Y OBSERVACIÓN DE PLAGAS.

Durante el cultivo se efectuó valoración cualitativa quincenal sobre la incidencia de patologías. Esta evaluación se realizó en una escala de 0 a 5 (siendo 0, ninguna incidencia y 5 incidencia en más de un 90% de la planta). Se anotaron también las patologías identificadas.

Se realizaron los siguientes tratamientos en orden cronológico:

- El 27 de julio se dispuso un sobre por planta de ANDERLINE MINI que contiene ácaros contra la araña roja, concretamente *Amblyseius andersonii* (250 ácaros/sobre).
- El 10 de agosto se detecta oruga.
- El 12 de agosto se dispusieron trampas de confusión y se realizó un tratamiento contra la oruga con COSTAR, bioinsecticida compuesto por 850 g/kg (esporas más proteínas) de *Bacillus thuringiensis, var. Kurstaki*, Cepa SA-12, serotipos 3a, 3b, (90,4 millones de U.I./g; dosis de aplicación: 50 g/hl), tratamiento que se repitió el 25 del mismo mes.
- El 24 de agosto también se trató contra el hongo con AMYLO-X, fungicida y bactericida constituido por la rizobacteria *Bacillus amyloliquefaciens subesp. Plantarum* cepa D747 (dosis de aplicación: 2 kg/ha).
- El 26 de agosto se detectó una plaga de barrenador, que se trata el 1 de septiembre con COSTAR.
- El 16 de septiembre se realiza un nuevo tratamiento con COSTAR y una aplicación foliar con AGROS-3 (solución de Sulfato de Magnesio soluble en agua: 5 % de MgO; dosis de aplicación: 200-250 cc./hectolitro (2-2,5 l/Ha.)). AGROS-3 es un biofortificante que aumenta la movilidad de los fluidos internos de la planta permitiendo el tráfico de nutrientes del exterior al interior de la célula, se utilizó porque las plantas habían sufrido estrés al quedar el campo inundado tras las fuertes lluvias del 6 al 10 de septiembre.

3.4.5. PODA.

La tercera de las prácticas de cultivo analizadas en este ensayo fue el efecto de la poda. En el ensayo se realizaron dos tipos de poda, la poda apical (Pa) que consistió en cortar los dos últimos entrenudos del eje apical de la planta, y la poda basal (Pb) en la que se eliminaron las 4 ramas basales de la planta.

Estas podas estaban condicionadas por la fecha de plantación y se realizaron en las siguientes fechas:

- 21 de julio: Poda apical de la plantación del 30 de junio.
- 28 julio: Poda baja de la plantación del 30 de junio y Poda apical de la plantación del 7 de julio.
- 4 de agosto: Poda baja plantación del 7 de julio y Poda apical de la plantación del 14 de julio.
- 4 de agosto: Se extrajeron esquejes de todas las plantas del ensayo.
- 17 de septiembre: Poda baja plantación 14 julio.

3.5. Determinaciones.

El 16 de septiembre se realizó la toma de medidas de todas las plantas (medida de alto, ancho y largo).

Además, 25 de septiembre se tomaron las muestras apicales de todas las plantas para realizar las determinaciones de cannabinoides, siguiendo el método de Berstein (2019), para lo que se cortaron los dos o tres centímetros apicales del tallo principal, guardándolos en 18 sobres, uno por cada variedad, fecha de plantación y tipo de poda.

La limitación presupuestaria de este proyecto nos obligó a mezclar las muestras apicales de los diferentes bloques en un sobre, del que tras su homogeneización se extrajo una muestra única en la que se determinó el contenido en cannabinoides.

La cosecha final se hizo el 30 de septiembre. Las plantas se cortaron a ras de suelo y se pesaron en el mismo campo (peso fresco planta). Posteriormente, se tomó una planta de las 6 que tenía cada repetición, ya que estábamos limitados por la capacidad del secadero, y se dispusieron en posición invertida en la cámara de secado de Agrópolis con ventilación forzada, donde se secaron durante 7 días.

A la salida del secadero, las plantas se pesaron (peso seco al aire) y seguidamente se separaron en dos fracciones: flor + hojas y tallos. Una vez pesadas (peso seco al aire), las dos fracciones se pusieron en estufa a 70°C durante 48 h y, finalizado el secado, se pesaron (peso seco en estufa).

3.5.1. CONTENIDO DE AGUA.

El contenido de humedad de la planta entera (contenido de humedad total), el de la fracción inflorescencias + hojas, y el contenido de humedad de la fracción tallos, se determinó tanto para los valores obtenidos tras pesar las plantas secadas al aire, como tras pesarlas al salir de la estufa.

3.5.2. PARTICIÓN DE LA BIOMASA Y RENDIMIENTO.

La proporción de inflorescencias (más hojas) y de tallos (% sobre materia seca) se determinó a partir del peso seco en estufa de ambas fracciones.

El rendimiento de biomasa fresca se determinó a partir del peso fresco de las plantas y, con este dato y el contenido de humedad de la planta seca en estufa, se determinó el rendimiento de biomasa seca. Finalmente, el rendimiento de cada fracción (inflorescencias + hojas y tallos) se calculó a partir del rendimiento de biomasa seca y de la proporción de cada fracción en la biomasa seca.

3.5.3. CONTENIDO EN CANNABINOIDES.

El contenido de cannabinoides puede variar a lo largo de la planta. Para lograr uniformidad en el proceso de muestreo para el análisis de cannabinoides, se cortaron 2 cm de flor de la parte apical del brote (Berstein et al., 2019) previamente a la cosecha de la planta entera.

La muestra se almacenó en bolsas de papel en la secadora siguiendo las recomendaciones de las Naciones Unidas en el Documento sobre las drogas y delitos, para el almacenamiento de productos de cannabis¹.

Por cuestiones presupuestarias, la determinación del contenido en cannabinoides¹ solo se pudo costear analizando 6 muestras, las correspondientes a la variedad Sg en las plantas del 30 de junio y del 14 de julio, para los tres tratamientos, sin tener en cuenta las repeticiones.

3.6. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron utilizando el programa estadístico SAS, la versión libre en línea SAS® OnDemand for Academics, versión 3.1.0 (SAS Institute, 2021). Los datos de los diferentes parámetros se sometieron a análisis de la varianza (ANOVA), con el procedimiento modelo lineal general (GLM, según las siglas en inglés) con tres factores. Previamente al análisis de la varianza, se verificó que se cumplía la hipótesis de normalidad con el test Shapiro-Wilk y se comprobó la homogeneidad de la varianza (homoscedasticidad). En caso de las variables que no presentaban una distribución normal, se transformaron mediante la ecuación logaritmo o raíz cuadrada. La separación de medias se hizo con el test de Student-Newman-Keuls para $P < 0,05$.

Las relaciones entre parámetros biofísicos (altura y superficie y robustez de la planta) y el rendimiento (biomasa fresca y biomasa e inflorescencia seca) se estudiaron mediante el análisis de correlación (coeficiente de correlación de Pearson) y de regresión, para las relaciones más consistentes.

4. Resultados y discusión.

4.1. Rendimiento de biomasa fresca, y biomasa seca e inflorescencia secada en estufa.

En la Tabla 1 se muestra el rendimiento de biomasa fresca, y biomasa, inflorescencia y tallo seco en estufa, en función de la fecha de plantación (FP), la variedad (V) y el tipo de poda realizada (P). Para todos estos parámetros, el análisis de la varianza indica diferencias significativas entre fechas de plantación y entre variedades, mientras que el efecto de la poda solo es significativo para el rendimiento de inflorescencia seca. Para este parámetro y para el rendimiento de biomasa seca, las interacciones FP x V y FP x P son significativas, mientras que para el tallo seco lo es la triple interacción FP x V x P. En todos los parámetros estudiados las plantas del 30 de junio son las que presentaron mayores rendimientos. En biomasa fresca fueron un 27,8% y 39,7%

¹ United Nations Office on Drugs and Crime. 2015. Recommended methods for the identification and analysis of cannabis and cannabis products [online]. Available in: <https://www.unodc.org/documents/scientific/ST-NAR-40-Ebook_1.pdf>

superiores que los de las plantas del 7 y 14 de julio respectivamente; 29,8% y 44,9% superiores en biomasa seca que los del 7 y 14 de julio respectivamente, y 18% y 40,7% superiores en inflorescencia seca que los de las plantas del 7 y 14 de julio respectivamente, lo que puede atribuirse al mayor tiempo del que dispone la planta para su desarrollo vegetativo antes de la floración, momento en el cual la acumulación de materia seca cae rápidamente según Amaducci et al. (2008).

De las dos variedades estudiadas, seleccionadas a partir del cultivar Carmagnola, variedad Sweet Green (Sg) y la Moose (Mo), la Sg es la que produjo mayores rendimientos en todos los parámetros estudiados, llegando a ser en biomasa seca hasta un 20,8% superior que la Moose, tal y como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Rendimiento de biomasa fresca (kg/ha), biomasa seca (kg/ha), inflorescencia seca (kg/ha) y Tallo seco (kg MS/ha) en función de la fecha de plantación, la variedad y el tipo de poda realizada. El grado de significación (ANOVA) es: * (P < 0,05), ** (P < 0,01) y n.s. indica diferencias no significativas. Para cada factor de variación, medias con misma letra no son significativamente diferentes, para P < 0,05 según test LSD (n = 108 para FP y P, y 162 para V).

Tratamiento	Biomasa fresca kg/ha	Biomasa seca kg/ha	Inflorescencia seca kg/ha	Tallo seco kg MS/ha
Fecha plantación (FP)				
30 junio	18.390 a	4.892	3.591	1.302
07 julio	13.272 b	3.587	2.520	1.067
14 julio	11.082 c	2.748	1.978	771
Variedad (V)				
Mo	13.023 b	3.307	2.397	910
Sg	15.474 a	4.178	2.995	1.183
Tipo Poda (P)				
Control	13.868 a	3.648	2.666	981
Poda alta	14.727 a	4.075	2.961	1.114
Poda baja	14.150 a	3.505	2.460	1.045
Media	14.248	3.743	2.696	1.047

ANOVA P > F				
FP	**	**	**	**
V	**	**	**	**
P	n.s.	n.s.	*	n.s.
FP x V	n.s.	**	**	**
FP x P	n.s.	**	**	n.s.
V x P	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
FP x V x P	n.s.	n.s.	n.s.	**

El rendimiento de biomasa fresca en función de la fecha de plantación, la variedad y el tipo de poda realizada presenta diferencias significativas entre las diferentes fechas de plantación (P<0,01) así como entre las dos variedades estudiadas, siendo las plantas de la variedad Sg y las

plantadas el 30 de junio las que presentaron un rendimiento de biomasa fresca significativamente mayor. La variedad Sg fue un 15,8% superior que la Mo, no encontrándose diferencias significativas en los resultados obtenidos por los diferentes tipos de poda para este parámetro, tal y como se muestra en la **Tabla 1**.

Vuerich, en su artículo de 2019 atribuye a los cultivares y al ambiente un efecto significativo para todas las variables. En este estudio parece que además de la variedad, la fecha de plantación también ejerce este efecto diferencial ($P < 0,01$).

En cuanto al tipo de poda, se observa que sólo influyó significativamente en el rendimiento de inflorescencia seca ($P < 0,05$), no viéndose alterado el resto de los parámetros estudiados.

La **Figura 10** muestra la influencia de la fecha de plantación sobre el rendimiento de biomasa seca en las variedades estudiadas. Las plantas del 30 de junio fueron las que produjeron mejores resultados, 5.876,8 kg/ha frente al 3.921 y 2.736 kg/ha de las plantas del 7 y 14 de julio respectivamente, lo que supone un rendimiento de biomasa seca 1,5 y 2,1 veces superior, respectivamente.

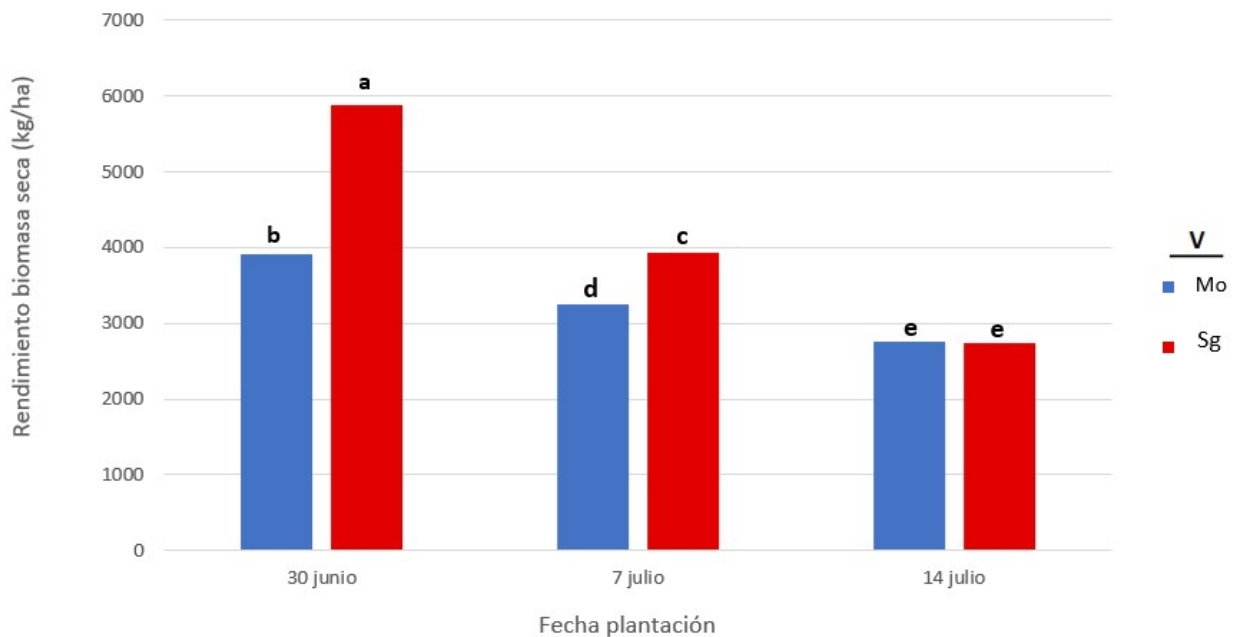


Figura 10. Rendimiento biomasa seca (kg/ha) en función de la fecha de plantación (FP) y de la variedad (V). El análisis de varianza (ANOVA) muestra diferencias significativas para FP ($P < 0,01$) y no significativas para el tipo de poda (P) ni para FP x P. Medias con misma letra no son significativamente diferentes según test LSD ($P < 0,05$) ($n = 54$).

En cuanto a la interacción entre las diferentes fechas de plantación y los diferentes tipos de poda, tal y como se muestra en la **Figura 11**, las plantas del 30 de junio a las que se sometió a poda alta (Pa) dieron un rendimiento en biomasa seca (5.924 kg/ha) significativamente mayor que el resto

de los tratamientos (C: 4.317 kg/ha), a excepción del tratamiento con poda baja y plantado el 30 de junio (Pb: 4.436 kg/ha), con el que las diferencias no eran significativas.

Las plantas del 14 de julio son las que presentaron un menor rendimiento de biomasa seca, siendo significativamente inferior al obtenido en las plantas del 30 de junio para todos los tipos de poda.

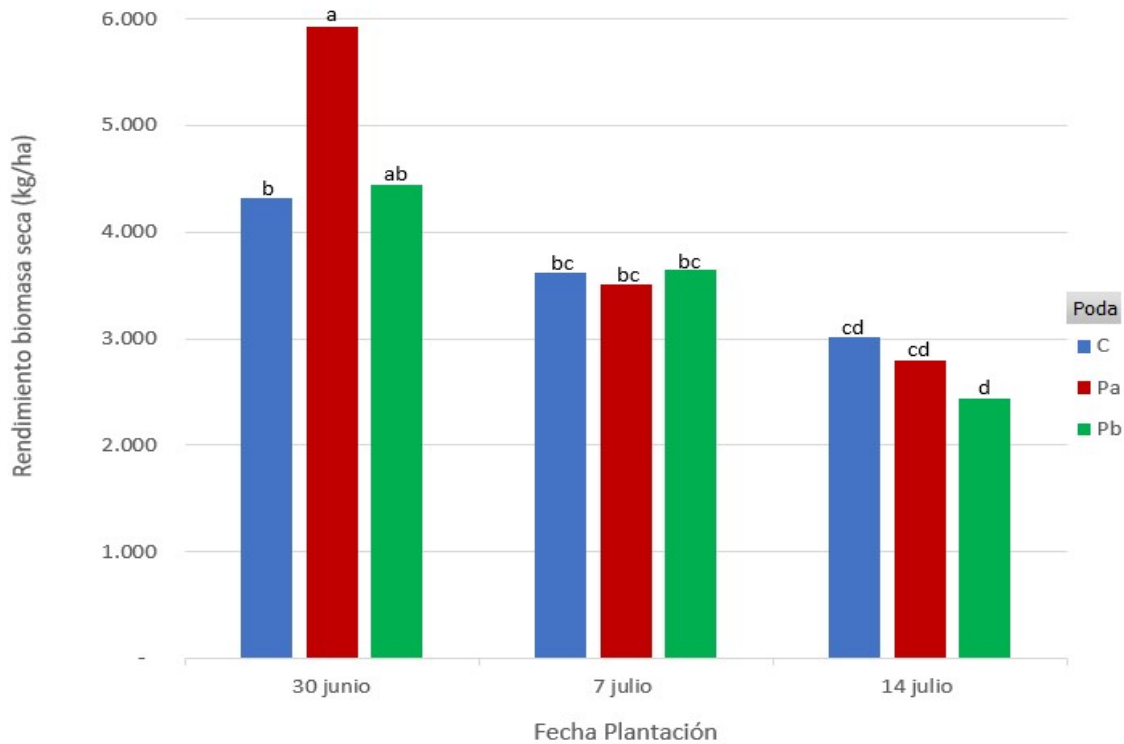


Figura 11. Rendimiento biomasa seca (kg/ha) en función de la fecha de plantación (30 junio, 7 y 14 julio) y el tipo de Poda (P; Control, C; Poda alta, Pa; Poda baja, Pb). El análisis de la varianza indica diferencias significativas ($P < 0,01$) entre fechas de plantación (FP) y para la interacción FP x P. Medias con misma letra no son significativamente diferentes según test LSD ($P < 0,05$) ($n = 18$).

En la **Figura 12** se muestran los resultados obtenidos en el rendimiento de inflorescencias secas cuando estudiamos la interacción entre fecha de plantación y tipo de poda (FP x P). Las plantas del 30 de junio a las que se sometió a una poda alta son las que presentan mejores resultados, aunque no presentan diferencias estadísticamente significativas respecto al control o a la poda baja (Pb), y no se repite esta tendencia en ninguna de las otras fechas de plantación. Por el contrario, el menor rendimiento de inflorescencias secas se presenta para la plantación del 14 de julio con poda baja. Tal y como muestra la gráfica, no parece que la interacción entre la fecha de plantación y el tipo de poda sea determinante en la obtención de un mayor o menor rendimiento en inflorescencias del cáñamo.

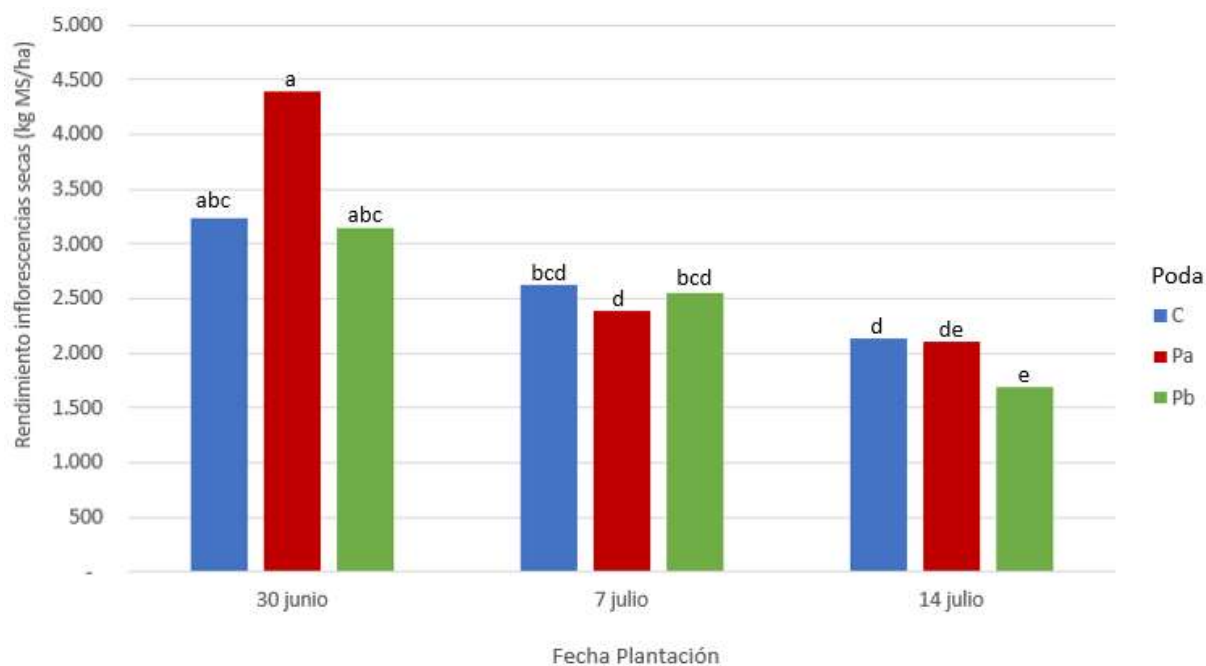


Figura 12. Rendimiento inflorescencias secas (kg/ha) en función de la Fecha de Plantación y el tipo de Poda (C, Control; Pa, Poda alta; Pb, Poda baja). Medias con misma letra no son significativamente diferentes según test LSD ($P < 0,05$) ($n = 36$).

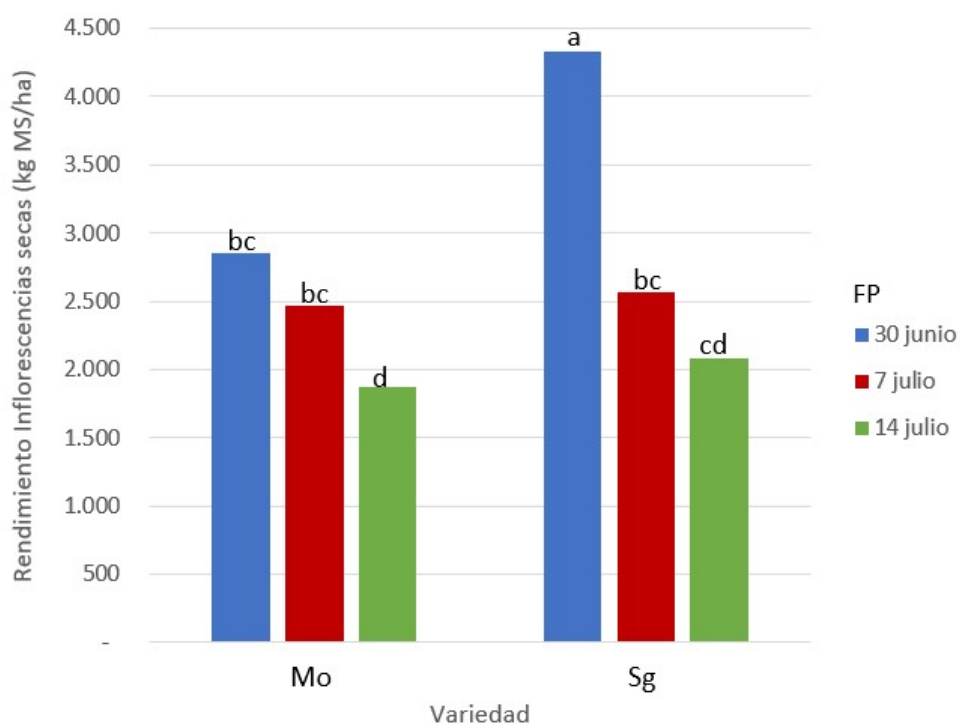


Figura 13. Rendimiento inflorescencias secas (kg/ha) en función de la Fecha de Plantación (FP) y la Variedad. Medias con misma letra no son significativamente diferentes según test LSD ($P < 0,05$) ($n = 54$).

En cambio, si lo que estudiamos es la influencia sobre el rendimiento en inflorescencia seca de la interacción entre fecha de plantación y la variedad, **Figura 13**, observamos que en ambas variedades las plantas del 30 de junio produjeron mejores resultados, aunque sólo en el caso de la variedad Sg estas diferencias son estadísticamente significativas, mientras que en la variedad Mo las plantas del 14 de julio produjeron los menores resultados con significación estadística ($P < 0,05$).

4.2. Superficie ocupada y robustez de la planta.

Los resultados de superficie ocupada por la planta y robustez se exponen en la **Tabla 2**. Únicamente FP y V afectaron significativamente a ambos parámetros, que disminuyen significativamente al retrasar la fecha de plantación.

Tabla 2. Superficie ocupada por la planta (m^2) y robustez (g MS/cm) en función de la fecha de plantación, la variedad y el tipo de poda realizada. El grado de significación (ANOVA) es: ** ($P < 0,01$) y n.s. indica diferencias no significativas. Medias con misma letra no son significativamente diferentes, para $P < 0,05$ según test LSD ($n = 108$ para FP y P, y 162 para V).

Tratamiento	Superficie planta m^2	Robustez g MS/cm
Fecha plantación (FP)		
30 junio	0,856 a	37 a
07 julio	0,681 b	31 b
14 julio	0,583 c	29 c
Variedad (V)		
Mo	0,657 b	29 b
Sg	0,757 a	36 a
Tipo Poda (P)		
Control	0,696 a	32 a
Poda alta	0,731 a	33 a
Poda baja	0,693 a	32 a
Media	0,707	32
ANOVA $P > F$		
FP	**	**
V	**	**
P	n.s.	n.s.
FP x V	n.s.	n.s.
FP x P	n.s.	n.s.
V x P	n.s.	n.s.
FP x V x P	n.s.	n.s.

En cuanto a la variedad, nuevamente la Sg produjo mejores resultados tanto en superficie ocupada por la planta como en la robustez de la misma, con diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,01$).

El último tratamiento estudiado, el tipo de poda, no parece influir en estos dos parámetros al no encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre los resultados (n.s.).

Estos resultados pueden atribuirse al mayor tiempo del que dispone la planta para su desarrollo vegetativo antes de la floración, según lo citado con anterioridad.

4.3. Proporción de materia seca en la biomasa secada al aire (MSa) y en la secada en estufa (MSe).

Cuando se estudió la proporción de materia seca en la biomasa secada al aire (MSa) y en la secada en estufa (MSe) los resultados obtenidos para ambos parámetros siguen patrones muy similares, no observándose diferencias estadísticamente significativas en los resultados obtenidos para ninguno de los tratamientos realizados (análisis no presentado).

Así, en la proporción de MSa, las proporciones obtenidas en las diferentes fechas de plantación fueron del 29,2% en las plantas del 30 de junio; 30,9% en las del 7 de julio y 27,8% en las del 14 de julio. Las dos variedades estudiadas produjeron un 29% de materia seca de biomasa secada al aire en la variedad Mo y un 29,6% la Sg. En cuanto a los diferentes tipos de poda, las proporciones oscilaron entre el 29,9% para las plantas control, el 30% para las sometidas a poda alta y el 28,1% para las de poda baja, tal y como se detalla en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Proporción (%) de materia seca en la biomasa fresca secada al aire (MSa), secada en estufa (MSe) y diferencia entre ambas, según la fecha de plantación, la variedad y el tipo de poda. Los datos son la media \pm error estándar (n = 108 para FP y P, y 162 para V).

Tratamiento	MSa (%)	MSe (%)	MSa – MSe (%)
Fecha plantación (FP)			
30 junio	29,2 \pm 2,6	26,2 \pm 5,7	3,0 \pm 0,7
7 julio	30,9 \pm 6,3	27,5 \pm 7,3	3,4 \pm 1,3
14 julio	27,8 \pm 8,4	24,8 \pm 2,4	3,0 \pm 0,7
Variedad (V)			
Mo	29,0 \pm 6,4	25,8 \pm 5,5	3,2 \pm 1,0
Sg	29,6 \pm 6,2	26,6 \pm 5,7	3,0 \pm 0,8
Tipo Poda (P)			
Control	29,9 \pm 8,0	26,9 \pm 7,0	3,0 \pm 1,1
Poda alta	30,0 \pm 5,7	26,8 \pm 5,2	3,1 \pm 0,8
Poda baja	28,1 \pm 4,8	24,9 \pm 4,2	3,2 \pm 0,9
Media	29,3 \pm 6,3	26,2 \pm 5,5	3,1 \pm 0,9

La proporción de MSe, tal y como se ve en la **Tabla 3**, tampoco se vio influenciada ni por la fecha de plantación ni por la variedad, ni por el tipo de poda realizada. Las plantas del 30 de junio presentaron valores del 26,6%, las del 7 de julio, 27,5% y 24,8% en las del 14 de julio. En cuanto a las variedades Mo presentó un 25,8% de MSe y Sg un 26,6%. En cuanto al tipo de poda realizada, las proporciones variaron entre el 26,9% en las plantas control, el 26,8% en la Pa y el 24,9% en las sometidas a poda baja. En la **Tabla 3**, figuran estos valores junto con sus correspondientes errores típicos.

Estos resultados muestran que ninguno de los tratamientos han influenciado significativamente la proporción de MSa ni de MSe.

En la **Tabla 3** se muestran además de los valores de la MSa y MSe la diferencia entre las mismas, no siendo en ningún caso superior al 3,5% con un error estándar de 1,3, lo que indica que la proporción de materia seca en la biomasa secada al aire constituye una buena medida de la materia seca sin tener que recurrir a secar en estufa, facilitando el estudio de ambos parámetros.

4.4. Proporción de inflorescencia y de tallo en la biomasa secada en estufa.

Ni la fecha de plantación, ni la variedad o el tipo de poda produjeron diferencias estadísticamente significativas en la proporción de inflorescencia y de tallo en la biomasa secada en estufa.

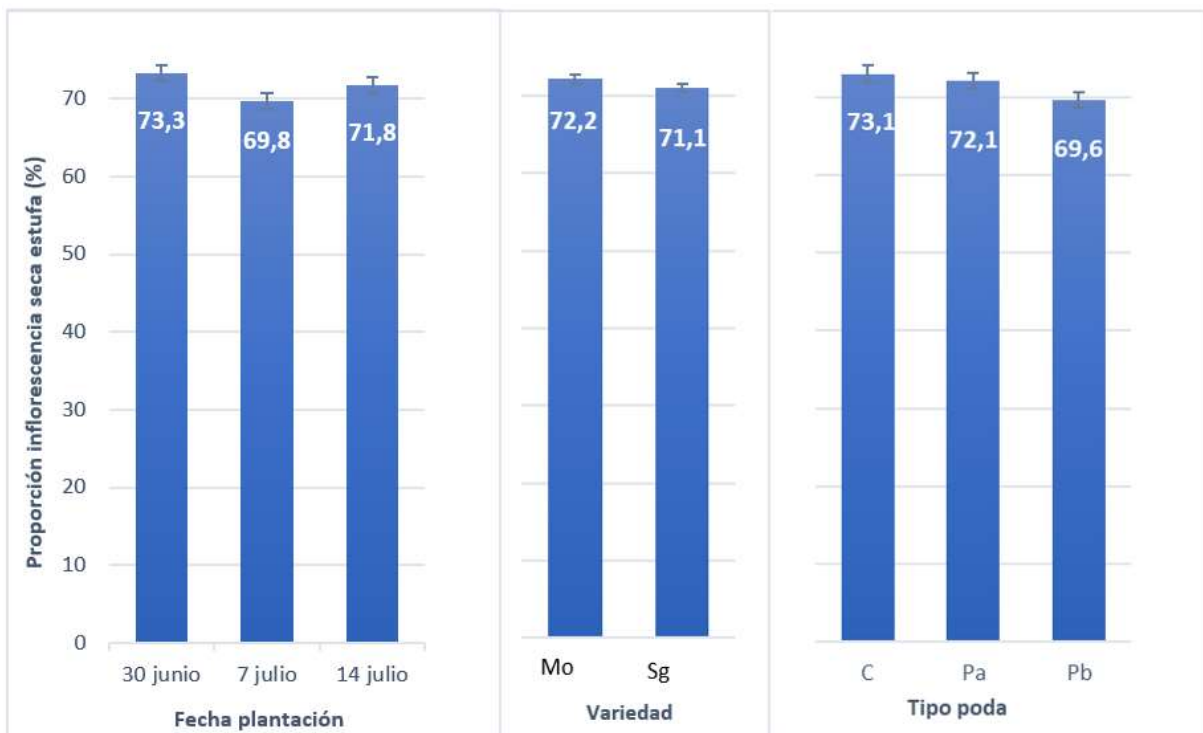


Figura 14. Proporción de inflorescencia (%) en la biomasa seca en estufa en función de la fecha de plantación (FP), la variedad (V) y el tipo de poda realizada (P). Las barras representan el error típico de la media (n = 108 para FP y P, y 162 para V).

Para las diferentes fechas de plantación se obtuvieron valores de proporción de inflorescencia del 73,3%, 69,8% y del 71,8% en las plantas del 30 de junio, 7 y 14 de julio respectivamente, tal y como se muestra en la **Figura 14**. La variedad Mo produjo un 72,2% de inflorescencia, valor muy similar a la que alcanzó Sg con el 71,1%. Las plantas no sometidas a poda produjeron el 73.1% de inflorescencia del total de la biomasa seca en estufa, y las de Pa y Pb un 72,1% y 69,6% respectivamente, resultados que no eran diferentes con significación estadística.

Cuando se comparan la proporción de tallo de la biomasa seca en estufa, se ve que ninguno de los tratamientos producen efectos estadísticamente significativos, tal y como se aprecia en la **Figura 15**. Resulta interesante destacar que la proporción de tallo obtenida en el presente ensayo, utilizando tecnología de cultivo orientada a maximizar la producción de flor, son muy bajas. La misma variedad, con tecnología de cultivo orientada a la producción de fibra, puede presentar valores de proporción de tallo e inflorescencia inversos a los obtenidos en nuestro estudio, Angelini et al., (2016).

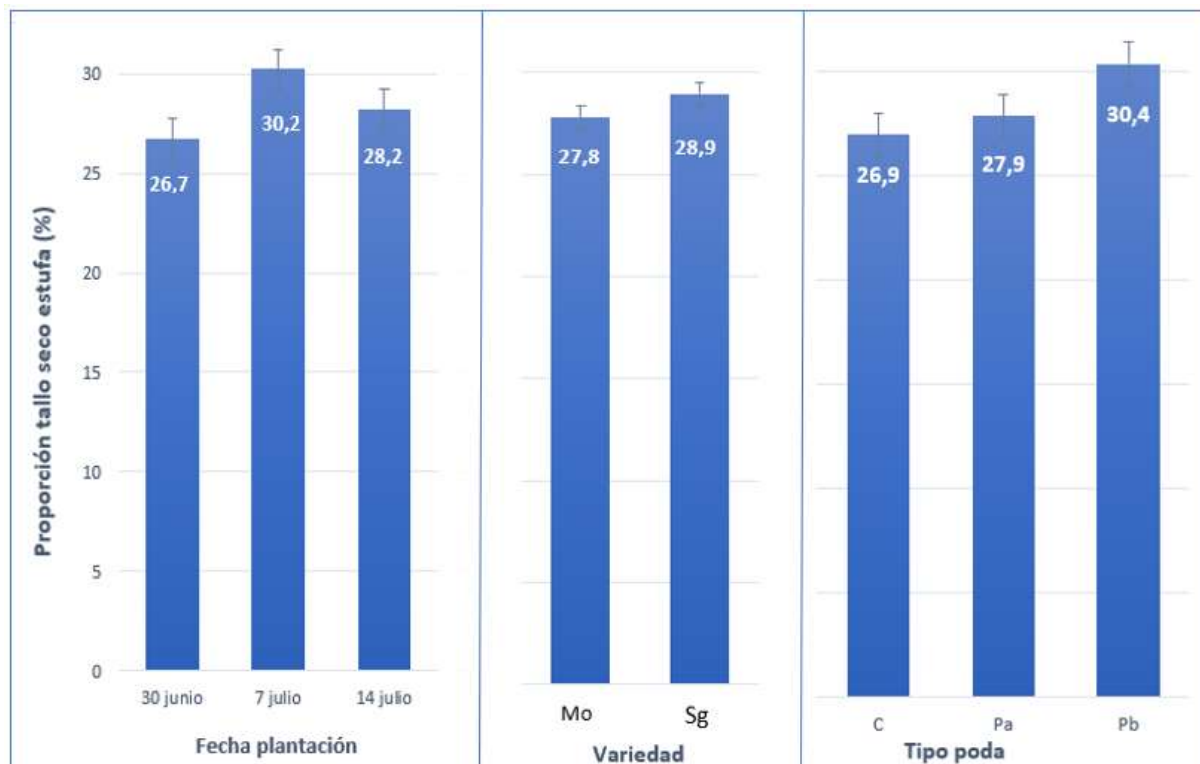


Figura 15. Proporción de tallo (%) en la biomasa seca en estufa en función de la fecha de plantación (FP), la variedad (V) y el tipo de poda realizada (P). Las barras representan el error típico de la media (n = 108 para FP y P, y 162 para V).

4.5. Relación entre el vigor y el rendimiento de biomasa e inflorescencia.

En la **Tabla 4** se presenta la correlación entre el rendimiento de biomasa fresca (Bf) y de biomasa seca en estufa (BSe) e inflorescencia seca en estufa (ISe), con la altura (cm), el porcentaje de ocupación de la línea (%), la superficie ocupada por la planta (m²) y la robustez de esta (g/cm)

para las variedades Mo y Sg en conjunto y por separado. Las relaciones son significativas y con $r > 0,55$ en todos los casos. Si el análisis se realiza para cada variedad independientemente, el grado de correlación entre las diferentes variables mejora ligeramente para la variedad Sg en general.

Altura y proporción de la línea ocupada por la planta presentan relaciones consistentes con el rendimiento de biomasa fresca y seca, y con el rendimiento de inflorescencia seca, aunque la relación que presenta valores más elevados es la robustez con el rendimiento de biomasa fresca con $r = 0,89$ y $0,94$ para la variedad Mo y Sg, respectivamente. Para la variedad Sg, la relación entre superficie ocupada por la planta y robustez con el rendimiento de biomasa seca ($r = 0,86$ y $0,87$, respectivamente) e inflorescencia seca ($r = 0,79$ y $0,78$, respectivamente) presenta niveles muy similares. En cambio, para la variedad Mo, la robustez muestra relaciones ligeramente más consistentes con el rendimiento de biomasa e inflorescencia seca ($r = 0,79$ y $0,76$, respectivamente) que las que se dan con la superficie de la planta ($r = 0,75$ y $0,73$, respectivamente).

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre altura (cm), ocupación de la línea (%), superficie ocupada por la planta (m²) y robustez (g/cm) con rendimiento de biomasa fresca (Bf) y rendimiento de biomasa seca (BSe) e Inflorescencia seca en estufa (ISe) para las variedades Mo y Sg en conjunto y por separado. ** Indica correlación significativa ($P < 0,01$).

	Altura (cm)			Ocupación línea (%)			Superficie planta (m ²)			Robustez (g/cm)		
	Mo+Sg	Mo	Sg	Mo+Sg	Mo	Sg	Mo+Sg	Mo	Sg	Mo+Sg	Mo	Sg
Bf	0,77**	0,81**	0,84**	0,68**	0,67**	0,71**	0,86**	0,81**	0,89**	0,91**	0,89**	0,94**
BSe	0,72**	0,75**	0,83**	0,64**	0,63**	0,66**	0,82**	0,75**	0,86**	0,83**	0,79**	0,87**
ISe	0,68**	0,69**	0,77**	0,59**	0,62**	0,57**	0,77**	0,73**	0,79**	0,77**	0,76**	0,78**

En conjunto, la superficie ocupada por la planta, medida que es muy fácil de obtener en campo, presenta niveles de relación con el rendimiento de inflorescencia seca (la parte de la planta más valiosa actualmente) similares a los que se obtienen con la robustez, más complicada de determinar. Por esto, se ha profundizado en esta relación analizando la relación entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de biomasa fresca y la biomasa e inflorescencia seca en estufa, datos que se representan en las **Figuras 16 a 18**.

Tal y como se observa en la **Figura 16**, el valor de R^2 en cada una de las rectas de regresión confirma una relación significativa ($P < 0,01$) entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de biomasa fresca tanto al estudiar las variedades por separado ($R^2 = 0,67$ para Mo; $R^2 = 0,79$ para Sg) como al hacerlo conjuntamente ($R^2 = 0,74$ para Mo + Sg), lo que confirma a la superficie ocupada por la planta como un muy buen indicador de este parámetro.

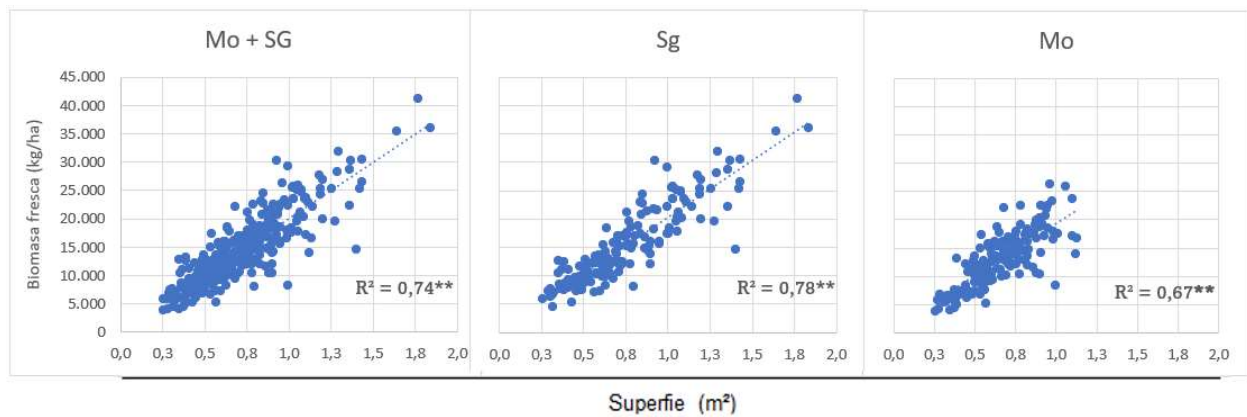


Figura 16. Relación entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de biomasa fresca para las variedades Mo y Sg en conjunto y por separado ($P < 0,01$; $n = 324$ y 162 respectivamente).

En la **Figura 17**, se presenta la relación entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de biomasa seca para las dos variedades. La relación es significativa ($P < 0,01$) y los valores de R^2 al analizar la relación de las variedades por separado fueron $R^2 = 0,57$ para Mo y $R^2 = 0,74$ para Sg. Cuando se analizaron las dos variedades conjuntamente R^2 era $0,68$, que son algo inferiores al nivel de relación con la biomasa fresca. Estos altos valores de R^2 confirman a la superficie ocupada por la planta como un muy buen indicador del rendimiento de biomasa seca secada en estufa.

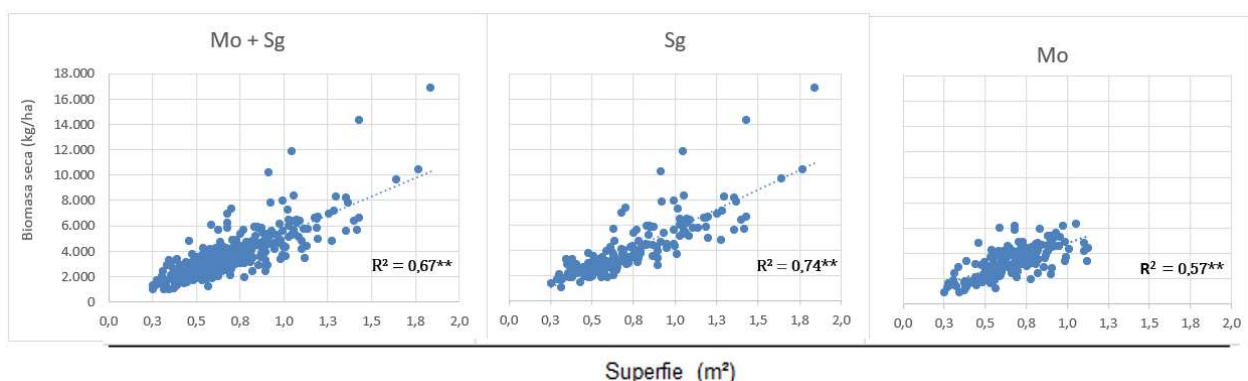


Figura 17. Relación entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de la biomasa seca en estufa para las variedades Mo y Sg, en conjunto y por separado ($P < 0,01$; $n = 324$ y 162 , respectivamente).

Como se observa en la **Figura 17** el nivel de relación de la superficie ocupada por la planta con la biomasa seca es algo inferior al obtenido con biomasa fresca. Esta relación para la variedad Sg es moderadamente superior que para Mo.

Los datos representados en las **Figuras 16** y **17** sugieren que la superficie ocupada por la planta sería un buen indicador a la hora de seleccionar las plantas madre más idóneas para la obtención de esquejes destinados a la producción de plantel.

La relación entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de inflorescencia seca en estufa para las dos variedades se presenta en la **Figura 18**. Los valores de R^2 al analizar la

relación de las dos variedades por separado fueron $R^2 = 0,53$ para Mo y $R^2 = 0,62$ para Sg. Cuando se analizaron las dos variedades conjuntamente R^2 era 0,59 ($P < 0,01$ para todos los casos).

También en este caso las relaciones obtenidas confirman que la superficie ocupada por la planta podría ser un muy buen indicador del rendimiento de inflorescencia seca en estufa, a la hora de seleccionar plantas madre para la producción de plantel, aunque esta relación es ligeramente más débil que la que presentaba la superficie ocupada por la planta con la biomasa seca y fresca, tal y como se observa en las **Figuras 16 y 17**.

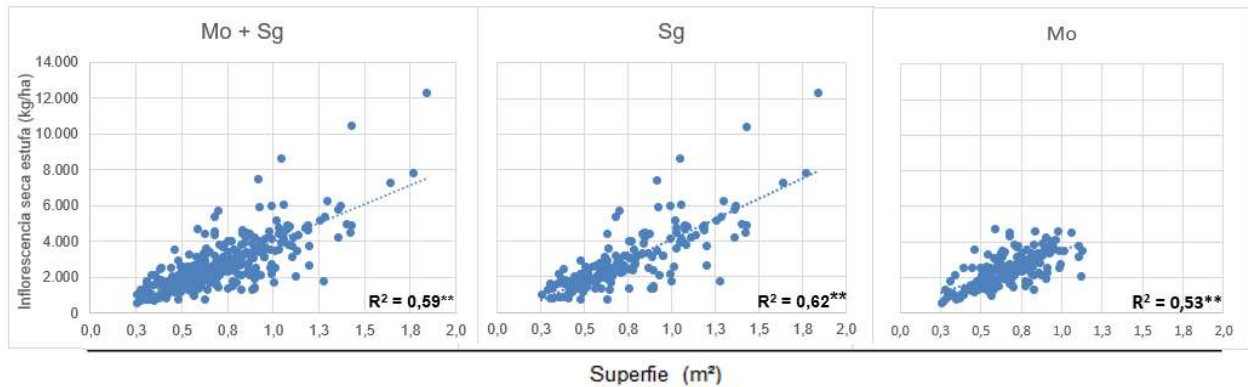


Figura 18. Relación entre la superficie ocupada por la planta y el rendimiento de inflorescencia seca en estufa para las variedades Mo y Sg en conjunto y por separado ($P < 0,01$; $n = 324$ y 162 , respectivamente).

4.6. Contenido de cannabinoides.

Por problemas de presupuesto sólo se pudo analizar el contenido de cannabinoides en la variedad Sg de las plantas del 30 de junio y del 14 de julio de todos los tipos de poda. No se realizaron repeticiones, por lo que mostramos valores de análisis únicos.

Tabla 5. Contenido en cannabinoides sobre materia seca al aire de CBD (cannabidiol), CBG (caannabigerol) y THC ($\Delta 9$ -Tetrahydrocannabinol), en las plantas de la variedad Sg del 30 de junio y 14 de julio sometidas a los diferentes tipos de poda.

Fecha de platación (FP)	Poda	CBD %	CBG %	THC %
30 junio	C	5,30	0,47	0,09
	Pa	5,17	0,47	0,07
	Pb	7,08	1,05	0,10
	Media	5,85	0,66	0,09
14 julio	C	4,57	0,35	0,09
	Pa	3,91	0,90	0,04
	Pb	4,13	0,42	0,07
	Media	4,20	0,56	0,07

En la **Tabla 5** se muestran los resultados obtenidos para CBD (cannabidiol), CBG (cannabinigerol) y THC (Δ^9 -Tetrahydrocannabinol) donde, además de comprobarse efectivamente que nuestras plantas tenían contenidos inferiores al 0,2% en THC, estos resultados parecen apuntar a que las plantas del 30 de junio presentan un mayor nivel en todos los cannabinoides estudiados y, de estas, las sometidas a Pb mejoraron sus niveles de CBD, CBG y THC respecto a las del control y Pa. Obviamente, al no haberse realizado repeticiones de estos análisis los resultados no pueden ser analizados estadísticamente por lo que no son concluyentes (carecen de significación estadística).

5. Conclusiones.

A continuación, se presentan las conclusiones del presente trabajo, para condiciones de regadío en el Baix Llobregat y clima Mediterráneo.

4.1. Rendimiento de biomasa fresca, y biomasa e inflorescencia seca en estufa.

1.- El rendimiento de biomasa fresca y seca y, de tallos e inflorescencias secas tendió a disminuir al retardar la fecha de plantación, siendo la plantación del 30 de junio la que presenta valores más altos, aunque en el caso del rendimiento de biomasa e inflorescencia seca, esta tendencia varió con la variedad y el tipo de poda.

2.- La variedad Sweet Green (Sg) tendió a producir mayores rendimientos de biomasa y de inflorescencia seca que la variedad Moose (Mo), pero estas diferencias se reducen al retrasar la fecha de plantación y difieren según el tipo de poda.

3.- El tipo de poda no afectó al rendimiento de biomasa, sólo tuvo una influencia muy limitada sobre el rendimiento de inflorescencia seca, que tendió a dar peores resultados con poda baja, pero influenciado por la fecha de plantación y por la variedad.

4.2. Superficie ocupada y robustez de la planta.

1.- Tanto la superficie ocupada por la planta como la robustez disminuyeron al retrasar la fecha de plantación.

2.- La variedad Sg produjo los mejores resultados tanto en superficie ocupada por la planta como en la robustez de esta.

3.- El tipo de poda no afectó a la superficie ocupada por la planta ni a su robustez.

4.3. Proporción de materia seca en la biomasa secada al aire (MSa) y en la secada en estufa (MSe).

1.- MSa y MSe no se vieron afectadas por ninguno de las variables estudiadas.

2.- MSa y MSe presentaron resultados que siguen patrones muy similares, hecho que sugiere que la MSa es suficientemente representativa del contenido de materia seca de las diferentes fracciones de la planta, cuando no es posible secarla en estufa para no afectar la determinación de terpenos y de cannabinoides.

4.4. Proporción de inflorescencia y de tallo en la biomasa secada en estufa.

1.- Ni la fecha de plantación, ni la variedad o el tipo de poda afectaron a la proporción ni de inflorescencia ni de tallo en la biomasa secada en estufa.

4.5. Relación entre el vigor y el rendimiento de biomasa e inflorescencia.

1.- La relación entre la superficie ocupada por la planta y la robustez, con el rendimiento de biomasa fresca y de biomasa e inflorescencia secas en estufa, fue superior a la obtenida con la altura de la planta y la ocupación de la línea, siendo la variedad Sg la que mostró una mejor relación.

2.- La superficie ocupada por la planta sería el parámetro idóneo para seleccionar plantas madre para la producción de plantel, dada la buena relación que presenta con el rendimiento de biomasa fresca y de biomasa e inflorescencia seca en estufa, siendo un parámetro fácil de medir en el campo.

4.6. Contenido de cannabinoides.

1.- No se pueden sacar conclusiones del efecto de la tecnología de cultivo sobre el contenido de cannabinoides, por lo que sería interesante poder determinarlo sin las limitaciones presupuestarias que han limitado este estudio.

En conjunto, sobre el efecto que ejerce la tecnología de cultivo sobre la producción de cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) en regadío en el Baix Llobregat, podemos concluir que la fecha de plantación y la selección de la planta madre para la obtención del plantel son las variables que tuvieron un mayor efecto sobre el vigor de la planta y la producción de biomasa e inflorescencias. Los resultados obtenidos sugieren que sería interesante ensayar fechas de plantación más tempranas y en más campañas.

En cuanto a los niveles de cannabinoides, sería interesante realizar un mayor número de análisis que nos permita sacar algún resultado concluyente, con significación estadística, sobre la influencia del tipo de poda sobre los mismos, como parecen apuntar los resultados expuestos.

6. Bibliografia.

Amaducci, S., Zatta, A., Pelatti, F., Venturi, G., 2008a. Influence of agronomic factors on yield and quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibre and implication for an innovative production system. *Field Crops Res.* 107, 161–169.

Amaducci, S., Colauzzi, M., Bellocchi, G., Venturi, G., 2008b. Modelling post-emergent hemp phenology (*Cannabis sativa* L.): theory and evaluation. *Eur. J. Agron.* 28, 90–102.

Amaducci, S., Zatta, A., Raffanini, M., Venturi, G., 2008c. Characterisation of hemp (*Cannabis sativa* L.) roots under different growing conditions. *Plant Soil* 313, 227–235.

Amaducci, S., Scoria, D., Liu, F.H., Zhang, Q., Guo, H., Testa, G., Cosentino, S.L., 2015. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Ind. Crops Prod.* 68, 2-16.

Amaducci, S., et al., 2014. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Ind. Crops Prod.* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.041>

Angelini, L.G., Tavarini, S., Di Candilo M., 2016. Performance of New and Traditional Fiber Hemp (*Cannabis sativa* L.) Cultivars for Novel Applications: Stem, Bark, and Core Yield and Chemical Composition, *Journal of Natural Fibers*, 13:2, 238-252, DOI: 10.1080/15440478.2015.1029193.

Baxter, W.J., Scheifele, G., 2000. Growing Industrial Hemp in Ontario. Ministry of Agriculture and Food, Ontario.

Benelli, G., Pavela, R., Petrelli, R., Cappellacci, L., Santini, G., Fiorini, D., Sut, S., Dall'Acqua, S., Canale, A., Maggi, F., 2018. The essential oil from industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) by-products as an effective tool for insect pest management in organic crops. *Ins. Crops Prod.* 122, 308-315.

Bennet, S.J., Snell, R., Wright, D., 2006. Effect of variety, seed rate and time of cutting on fibre yield of dew-retted hemp. *Ind. Crops Prod.* 24, 79–86.

Bernstein, N., Gorelick, J., Zerahia, R., & Koch, S., 2019. Impact of N, P, K, and humic acid supplementation on the chemical profile of medical cannabis (*Cannabis sativa* L). *Frontiers in Plant Science*, 10(June). <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00736>

Bertoli, A., Tozzi, S., Pistelli, L., Angelini, L.G., 2010. Fibre hemp inflorescences: from crop-residues to essential oil production. *Ind. Crops Prod.* 32, 329-337.

Blade, S.F., 1998. Industrial hemp in Alberta. In: Blade, S. (Ed.) *Alberta Hemp Symposia Proceedings*. Alberta Agriculture. Food and Rural Development, Red Deer, Alberta, pp. 2-11.

Bósca, I., Karus, M., 1997. The Cultivation of Hemp. Botany, Varieties, Cultivation and Harvesting. HempTech, Sebastopol, CA. pp. 184.

Brenneisen, R., Elsohly, M., 1988. Chromatographic and spectroscopic profiles of Cannabis of different origins. Part I. *J. Forensic Sci.* 33, 1385–1404.

Cannabis Hub, (Consulta 7-01-2022). Disponible en: <https://www.upc.edu/es/sala-de-prensa/noticias/nace-el-primer-cannabis-hub-de-europa-de-la-mano-de-la-upc-y-valenveras>

Carus, M., Karst, S., Kauffmann, A., Hobson, J., Bertucelli, S., 2013. The European Hemp Industry: Cultivation, Processing and Applications for Fibres, Shives and Seeds. European hemp Industry Association, pp. 1–9, Available at: <http://www.eiha.org/attach/8/13-03%20European%20Hemp%20Industry.pdf>

Cheng, X., Deng, G., Su, Y., Liu, J.J., Yang, Y., Du, G.H., Chen, Z.Y., Liu, F.H., 2016. Protein mechanisms in response to NaCl-stress of salt-tolerant and salt-sensitive industrial hemp based on iTRAQ technology. *Ind. Crops Prod.* 83, 444-452.

Cosentino, S.L., Testa, G., Scordia, D., Copani, V., 2012. Sowing time and prediction of flowering of different hemp (*Cannabis sativa* L.) genotypes in southern Europe. *Ind. Crops Prod.* 37 (1), 20–33.

de Meijer, E.P.M., Bagatta, M., Carboni, A., Crucitti, P., Moliterni, V.M., Ranalli, P., Mandolino, G., 2003. The inheritance of chemical phenotype in *Cannabis sativa* L. *Genetics* 163, 335-346.

EISohly, M., Slade, D., 2005. Chemical constituents of marijuana. The complex mixture of natural cannabinoids. *Life Sci.* 78, 539–548.

Finnan, J., Styles, D., 2013. Hemp: a more sustainable annual energy crop for climate and energy policy. *Energy Policy* 58, 152–162.

Fournier, G., Paris, M.R., 1978. Variabilit  de la composition chimique de l'huile essentielle de Chanvre (*Cannabis sativa* L.). *Rivista Italiana E.P.P.O.S.* LX, 504–509.

Gorchs Altarriba, G., Hern andez, E., Comas, J., 2006. Viabilitat t cnica i econ mica del cànem industrial als secans frescals i semifrescals de Catalunya. Generalitat de Catalunya Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural.

Gorchs Altarriba, G., Lloveras Vilamanyà, J., & Universitat de Lleida. Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal. (2006). Efecte de les tècniques de conreu en la producció del cànem (*Cannabis sativa* L.) i efecte del cànem com a cultiu precedent del blat (*Triticum aestivum* L.). In TDX (Tesis Doctorals en Xarxa).

Hemphill, J., Turner, J., Mahlberg, P.G., 1980. Cannabinoid content of individual plant organs from different geographical strains of *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae). *J. Nat. Prod.* 43, 112–122.

Hendriks, H., Malingre, T.M., Batterman, S., Bos, R., 1975. Mono- and sesquiterpene hydrocarbons of the essential oil of *Cannabis sativa* L. *Phytochemistry* 14 (3), 814–815.

Hillig, K.W.A., 2004. Chemotaxonomic analysis of terpenoid variation in Cannabis. *Biochem. Syst. Ecol.* 32 (10), 875–891.

Hu, H.R., Liu, H., Liu, F.H., 2018. Seed germination of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars responds differently to the stress of salt type and concentration. *Ind. Crops Prod.* 123, 254-261.

Huaran, H., Hao, I., Fei, Y., Gang, D., Yang, Y., Feihu, I., 2019. Fiber and seed type of hemp (*Cannabis sativa* L.) responded differently to salk-alkali stress in seedling growth and physiological indices. *Ind. Crops Prod.* 129, 624-630.

Hughes, B., 2017 Cannabis legislation in Europe. In *Cannabis Legislation in Europe*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16248-0_32

Kim, E.S., Mahlberg, P., 1981. Secretory cavity development in glandular trichomes of *Cannabis sativa* L., (Cannabaceae). *Am. J. Bot.* 78, 220–229.

Kriese, U., Schumann, E., Weber, W.E., Beyer, M., Brühl, L., Matthäus, B., 2004. Oil content, tocopherol composition and fatty acid patterns of the seeds of 51 *Cannabis sativa* L. genotypes. *Euphytica* 137, 339–351.

Lanyon, V.S., Turner, J., Mahlberg, P., 1981. Quantitative analysis of Cannabinoids in the secretory product from capitate-stalked glands of *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae). *Bot. Gaz.* 142 (3), 316–319.

Lash, R., 2002 Industrial Hemp: The Crop for the Seventh Generation. *American Indian Law Review*, 27(1), 313. <https://doi.org/10.2307/20070692>.

Leizer, C., Ribnicky, D., Poulev, A., Dushenkov, S., Raskin, I., 2000. The composition of hemp seed oil and its potential as an important source of nutrition. *J. Nutraceut. Funct. Med. Foods* 2 (4), 36–53.

Lemberkovics, E., Veszki, P., Verzar-Petri, G., Trka, A., 1981. Study on sesquiterpenes of the essential oil in the inflorescence and leaves of *Cannabis sativa* L. var. Mexico. *Sci. Pharm.* 49 (4), 401–408.

Liberalato, D., 2003. Prospect of Hemp Utilisation in the European Textile Industry. Ienica, Bologna, Italy. <http://www.ienica.net/italyseminar>.

Malingrè, T., Hendriks, S., Batterman, S., Bos, R., Visser, J., 1975. The essential oil of *Cannabis sativa* L. *Planta Med.* 28, 56–61.

MCC, 2017. Medicines Control Council. Cultivation of Cannabis and Manufacture of Cannabis-related Pharmaceutical Products for Medicinal and Research Purposes. 32 pp. Available at: Department of health, Republic of South Africa. <https://www.sahpra.org.za/documents/84a71af62.44>, cannabis_growth_feb2017_v1_for_comment.

McKenna, G. J., 2014. The current status of medical marijuana in the United States. *Hawai'i Journal of Medicine & Public Health: A Journal of Asia Pacific Medicine & Public Health*, 73(4), 105–108.

Mediavilla, V., Steinemann, S., 2005. Essential oil of *Cannabis sativa* L. strains. *J. Agric. Food Chem.* 53, 424–429.

Meijer, W., 1998. *Journal of Vegetation Science* 9: 897, 1998.

- Mihoc, M., Pop, G., Alex, E., Radulov, I., 2012.** Nutritive quality of romanian hemp varieties (*Cannabis sativa L.*) with special focus on oil and metal contents of seeds. *Chem. Cent. J.* 6, 122.
- Nissen, L., Zatta A., Stefanini, I., Grandi, S., Sgorbati B., Biavati, B., Monti, A., 2009.** Characterization and antimicrobial activity of essential oils of industrial hemp varieties (*Cannabis sativa L.*). doi: 10.1016/j.fitote.2009.11.010.
- Novak, J., Zitterl-Eglseer, K., Deans, S.G., Franz, C., 2001.** Essential oils of different cultivars of *Cannabis sativa L.* and their antimicrobial activity. *Flavour Frag. J.* 16, 259–262.
- Novak, J., Franz, C., 2003.** Composition of the essential oils and extracts of two populations of *Cannabis sativa L. ssp. spontanea* from Austria. *J. Essential Oil Res.* 15 (3), 158–160.
- Potter, D., 2009.** The propagation, Characterization and Optimization of *Cannabis sativa L.* As a Phytopharmaceutical. PhD Theis. Department of Pharmaceutical Science Research King's College London, UK.
- Ranalli, P., Venturi, G., 2004.** Hemp as a raw material for industrial applications. *Euphytica* 140, 1–6.
- Ross, S.A., ElSohly, A., 1996.** The volatile composition of fresh and air-dried buds of *Cannabis sativa L.* *J. Nat. Prod.* 59, 49–51.
- Salentijn, E.M.J., Zhang, Q., Amaducci, S., Yang, M., Trindade, L.M., 2015.** New developments in fiber hem (*Cannabis sativa L.*) breeding. *Ind. Corps Prod.* 68, 32-41.
- Struik, P.C., Amaducci, S., Bullard, M.J., Stutterheim, N.C., Venturi, G., Cromack, H.T.H., 2000.** Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa L.*) in Europe. *Ind. Crops Prod.* 11, 107–118.
- Tang, K., Struik, P.C., Yin, X., Thouminot, C., Bjelková, M., Stramkale, V., Amaducci, S., 2016.** Comparing hemp (*Cannabis sativa L.*) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. *Ind. Crops Prod.* 87, 33-44.
- Thomas, Sharma, T.G., Prakash, S.K., Anand, Sharma, B.R., 2000.** Insecticidal properties of essential oil of *Cannabis sativa* Linn. against mosquito larvae. *Entomon* 25 (1), 21–24.
- Turner, C.E., ElSohly, M.A., Boeren, E.G., 1980.** Constituents of *Cannabis sativa L.* XVII. A review of the natural constituents. *J. Nat. Prod.* 43, 169–234.
- Van der Werf, H.M.G., 1994.** Fibre hemp in France. In: Rosenthal, E. (Ed.), *Hemp Today*. Quick American Archives, Oakland, CA.
- Yang, X.Y., 1991.** History of cultivation on hemp, sesame and flax. *Agric. Archaeol.* 03, 267–274 (in Chinese).
- Zuardi, A. W., 2006.** History of cannabis as a medicine: A review. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 28(2), 153–157. <https://doi.org/10.1590/S1516-44462006000200015>.

Anejo A: Análisis del suelo de la parcela de ensayo en Agrópolis:



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 20073124
Nº Informe: 20073124.01



Los ensayos marcados con (*), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente	Ref.: AGROPOLIS
Cannaveras Genetics, S.L.	Descripción: Suelo (2 kg aprox. en bolsa de plástico)
Cami Pla de La Torreta, 1 Bis 08392 Sant Andreu de Llavaneres Barcelona (ESPAÑA)	Matriz: Suelo
Interlocutor: Alfred Castillejo	Descripción: Suelo (2 kg aprox. en bolsa de plástico)
Datos Laboratorio	Condición:
Muestreo: Cliente	Obs.:
Recogida: Cliente - (TIPSA)	
Entrada: 24/07/2020 - 12:25	Inicio: 04/08/2020
	Finalización: 11/08/2020

ANÁLISIS DE SUELO (físico-químico)

GRANULOMETRÍA (fracción <2mm)	Resultado	Textura (U.S.D.A)	Metodología
* Arena (2-0,05 mm)	46 % (p/p)	Franco arcilloso arenoso	Densímetro de Bouyoucos
* Limo (0,05-0,002)	26 % (p/p)		Densímetro de Bouyoucos
* Arcilla (<0,002 mm)	28 % (p/p)		Densímetro de Bouyoucos
* Densidad aparente	1,416 g/cc		Cálculo matemático

REACCIÓN DEL SUELO	Resultado	M.BAJO**	BAJO**	MEDIO**	ALTO**	M.ALTO**	Metodología
pH en KCl 1M extracto 1/2 (v/v)	7,74 Ud. pH	[Bar chart showing pH level]					PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13027
* Caliza total CaCO3	29,30 % (p/p)	[Bar chart showing CaCO3 level]					PTA-FQ-013, calcímetro Bernard
* Caliza activa CaCO3	9,90 % (p/p)	[Bar chart showing active CaCO3 level]					PTA-FQ-013, ext. oxal. amónico

MATERIA ORGÁNICA	Resultado	M.BAJO**	BAJO**	MEDIO**	ALTO**	M.ALTO**	Metodología
Materia orgánica total	1,94 % (p/p)	[Bar chart showing organic matter level]					PTA-FQ-014, ox. dicromato, basado en UNE-EN 103204
* Carbono orgánico total C	1,126 % (p/p)	[Bar chart showing organic carbon level]					PTA-FQ-014, ox. dicromato
* Relación carbono/nitrógeno total C/N	9,2	[Bar chart showing C/N ratio level]					Cálculo matemático, C.orgánico/N.total
							C.orgánico/N.total

MACRONUTRIENTES PRIMARIOS	Resultado	M.BAJO**	BAJO**	MEDIO**	ALTO**	M.ALTO**	Metodología
Nitrógeno total N	0,122 % (p/p)	[Bar chart showing nitrogen level]					PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2
Fósforo asimilable P	42,6 mg/kg	[Bar chart showing phosphorus level]					PTA-FQ-015, Olsen, ICP-AES, basado en ISO 22036

MICRONUTRIENTES	Resultado	M.BAJO**	BAJO**	MEDIO**	ALTO**	M.ALTO**	Metodología
Hierro asimilable Fe	12,2 mg/Kg	[Bar chart showing iron level]					PTA-FQ-010, ext. DPTA, ICP-AES, basado en ISO 22036
Manganeso asimilable Mn	13,5 mg/Kg	[Bar chart showing manganese level]					PTA-FQ-010, ext. DPTA, ICP-AES, basado en ISO 22036
Zinc asimilable Zn	4,15 mg/Kg	[Bar chart showing zinc level]					PTA-FQ-010, ext. DPTA, ICP-AES, basado en ISO 22036
Cobre asimilable Cu	5,7 mg/Kg	[Bar chart showing copper level]					PTA-FQ-010, ext. DPTA, ICP-AES, basado en ISO 22036

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones omitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.

Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

SALINIDAD (extracto saturado)		Resultado		BAJO**	MEDIO**	ALTO**	Metodología
Conductividad eléctrica (25°C) en ext. sat.		2,47	mS/cm				
* Capacidad de retención de agua (% sat.)		45,2	%(p/p)				PTS-FQ-003, sat. con agua
		mg/l	meq/l				
Nitrato	NO3	< 5,0	< 0,081				PTA-FQ-012, c. iónica, basado en UNE-EN 10304-1
Potasio	K	177	4,5				PTA-FQ-027, ICP-AES
Calcio	Ca	178	8,9				PTA-FQ-027, ICP-AES
Magnesio	Mg	48	3,97				PTA-FQ-027, ICP-AES
Sulfato	SO4	118	2,46				PTA-FQ-012, c. iónica, basado en UNE-EN 10304-1
* Bicarbonato	HCO3	427	7,01				PTA-FQ-016, volumetría
Cloruro	Cl	509	14,3				PTA-FQ-012, c. iónica, basado en UNE-EN 10304-1
Sodio	Na	126	5,46				PTA-FQ-027, ICP-AES
Boro	B	0,296					PTA-FQ-027, ICP-AES
Interacciones		Resultado					
* Relación de absorción de sodio	S.A.R.	2,16					Cálculo matemático
* Relación potasio/calcio	K/Ca	0,51					Cálculo matemático
* Relación potasio/magnesio	K/Mg	1,14					Cálculo matemático
* Relación calcio/magnesio	Ca/Mg	2,23					Cálculo matemático
* Relación calcio/sodio	Ca/Na	1,62					Cálculo matemático
* Relación nitrato/potasio	NO3/K	0,0130					Cálculo matemático

CATIONES DE CAMBIO Y CAP. INTERCAM. (CIC)		Resultado		M.BAJO**	BAJO**	MEDIO**	ALTO**	M.ALTO**	Metodología
Sodio de cambio	Na	0,339	meq/100g						PTA-FQ-009, BaCl2-TEA, ICP-AES
Potasio de cambio	K	2,25	meq/100g						PTA-FQ-009, BaCl2-TEA, ICP-AES
Calcio de cambio	Ca	8,2	meq/100g						PTA-FQ-009, BaCl2-TEA, ICP-AES
Magnesio de cambio	Mg	1,62	meq/100g						PTA-FQ-009, BaCl2-TEA, ICP-AES
Capacidad de intercambio catiónico	C.I.C.	12,5	meq/100g						Suma de bases + acidez
Proporciones relativas		% CIC							
* Proporción relativa de sodio (PSI)	Na	2,7							Cálculo matemático
* Proporción relativa de potasio	K	18,0							Cálculo matemático
* Proporción relativa de calcio	Ca	66,2							Cálculo matemático
* Proporción relativa de magnesio	Mg	13,0							Cálculo matemático
Interacciones		Resultado							
* Relación calcio/magnesio	Ca/Mg	5,08							Cálculo matemático
* Relación potasio/magnesio	K/Mg	1,38							Cálculo matemático

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.

Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

NUTRIENTES FERTILIZANTES (resumen)		Resultado				Metodología
Nitrógeno total	N	1.224	mg/kg	4.332	kg/Ha	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2
Nitrógeno nítrico soluble extracto saturado	N	< 0,511	mg/kg	< 1,81	kg/Ha	PTA-FQ-012, c. iónica
Nitrato soluble extracto saturado	NO3	< 2,26	mg/kg	< 8,0	kg/Ha	PTA-FQ-012, c. iónica, basado en UNE-EN 10304-1
Fósforo asimilable	P2O5	98	mg/kg	345	kg/Ha	PTA-FQ-015, Olsen, ICP-AES, basado en ISO 22036
Potasio de cambio	K2O	1.054	mg/kg	3.731	kg/Ha	PTA-FQ-009, BaCl2-TEA, ICP-AES
Potasio soluble extracto saturado	K2O	96	mg/kg	341	kg/Ha	PTA-FQ-027, ICP-AES
Potasio asimilable	K2O	1.150	mg/kg	4.072	kg/Ha	Suma cationes cambio+solubles
Calcio de cambio	CaO	2.314	mg/kg	8.190	kg/Ha	PTA-FQ-009, BaCl2-TEA, ICP-AES
Calcio soluble extracto saturado	CaO	112	mg/kg	398	kg/Ha	PTA-FQ-027, ICP-AES
Calcio asimilable	CaO	2.426	mg/kg	8.588	kg/Ha	Suma cationes cambio+solubles
Magnesio de cambio	MgO	327	mg/kg	1.158	kg/Ha	PTA-FQ-009, BaCl2-TEA, ICP-AES
Magnesio soluble extracto saturado	MgO	36,2	mg/kg	128	kg/Ha	PTA-FQ-027, ICP-AES
Magnesio asimilable	MgO	363	mg/kg	1.286	kg/Ha	Suma cationes cambio+solubles
Hierro asimilable	Fe	12,2	mg/kg	43,1	kg/Ha	PTA-FQ-010, ext. DPTA, ICP-AES, basado en ISO 22036
Manganeso asimilable	Mn	13,5	mg/kg	48	kg/Ha	PTA-FQ-010, ext. DPTA, ICP-AES, basado en ISO 22036
Zinc asimilable	Zn	4,15	mg/kg	14,7	kg/Ha	PTA-FQ-010, ext. DPTA, ICP-AES, basado en ISO 22036
Cobre asimilable	Cu	5,7	mg/kg	20,1	kg/Ha	PTA-FQ-010, ext. DPTA, ICP-AES, basado en ISO 22036
Boro soluble extracto saturado	B	0,134	mg/kg	0,47	kg/Ha	PTA-FQ-027, ICP-AES

Resultados obtenidos sobre muestra seca al aire y fracción <2mm. p/p: peso/peso. p/v: peso/volumen.

Ha: abreviatura referida a hectárea surco para una superficie de 10000 m² y una profundidad de 25 cm.

Los orientadores se establecen de modo general para un suelo con fines agronómicos, independientemente del tipo de cultivo y modalidad técnica empleada para la explotación del mismo.

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Caravaca
Firmado digitalmente
por Antonio Abellán Caravaca
S.L.
Fecha emisión:
11/08/2020 15:13:02

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.

Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.