

Genética vegetal y biodiversidad

Artículo de investigación científica y tecnológica

Comportamiento agronómico de seis genotipos de *Cannabis* sp. no psicoactivo bajo invernadero, en el intertrópico andino alto de Colombia

Agronomic behavior of six non-psychoactive *Cannabis* sp. genotypes under greenhouse in the high Andean tropics of Colombia

 Mayra Fernanda Gómez García ^{1*}  Fáber de Jesús Chica Toro ¹
 Guillermo Antonio Correa-Londoño ¹

¹ Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Medellín, Antioquia, Colombia.

*Autor de correspondencia: Mayra Fernanda Gómez García. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, carrera 65 #59A-110, bloque 11, oficina 104, Medellín, Antioquia, Colombia. mayra.gomez@anuteacorp.com

Recibido: 07 de septiembre de 2021
Aprobado: 16 de febrero de 2023
Publicado: 18 de abril de 2023

Para citar este artículo: Gómez García, M. F., Chica Toro, F., & Correa-Londoño, G. A. (2023). Comportamiento agronómico de seis genotipos de *Cannabis* sp. no psicoactivo bajo invernadero, en el intertrópico andino alto de Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e2698. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2698

Resumen: En el marco del Decreto 613 de 2017, que reglamenta la Ley 1787 de 2017, se da inicio en Colombia a la producción legal del cannabis para uso médico y científico. Al tratarse de un cultivo sin historial legal en el país, es necesario realizar una prueba de evaluación agronómica (PEA), mediante la cual se demuestre su estabilidad en una subregión determinada, durante un ciclo completo. Este estudio presenta los resultados de una PEA realizada en la zona andina de frío moderado (de 1800 a 2200 m s.n.m.) del oriente del departamento de Antioquia, Colombia, bajo cubierta plástica, con seis genotipos de cannabis no psicoactivo (THC < 1%) preexistentes en la fuente semillera registrada ante el ICA. La evaluación se desarrolló entre el 30 de septiembre del 2019 y el 15 de enero del 2020. Los genotipos se distribuyeron espacialmente con base en un esquema de aleatorización de bloques completos al azar, con tres réplicas por genotipo y 20 plantas por unidad experimental, sembradas a una densidad de cuatro plantas por metro cuadrado. La biomasa total fresca (tallo, hojas e inflorescencias) por metro cuadrado presentó una media general de 3525,62 g, de los cuales 775,42 g (22%) correspondieron a las flores. Las flores presentaron un contenido promedio de 10,70 % de CBD y 0,47 % de THC. Estos materiales clasifican como no psicoactivos, acorde con la normatividad colombiana, pudiendo destinarse, por tanto, a cualquiera de las finalidades que establece la sección 5 del Decreto 613 de 2017.

Palabras clave: cannabinoides, cannabis medicinal, caracterización, productividad, prueba de evaluación agronómica (PEA), tetrahidrocannabinol, cannabidiol.

Abstract: Within the framework of Decree 613 of 2017, which regulates Law 1787 of 2017, the legal production of cannabis for medical and scientific use begins in Colombia. As it is a crop with no legal history in the country, it is necessary to carry out an agronomic evaluation test (AET), through which its stability in a determined subregion is demonstrated, during a complete cycle. This study presents the results of an AET carried out in the Andean zone of moderate cold (from 1800 to 2200 m asl) in the eastern department of Antioquia, Colombia, under plastic cover, with six genotypes of non-psychoactive cannabis (THC < 1%) pre-existing in the seed source registered with the ICA. The evaluation was carried out between September 30, 2019, and January 15, 2020. The genotypes were spatially distributed based on a randomized complete block design, with three replicates per genotype and 20 plants per experimental unit, planted at a density of four plants per square meter. The total fresh biomass (stem, leaves and inflorescences) per square meter presented a general average of 3525.62 g, of which 775.42 g (22%) corresponded to the flowers. The flowers had an average content of 10.70% CBD and 0.47% THC. These materials are classified as non-psychoactive, in accordance with Colombian regulations, and can therefore be used for any of the purposes established in Section 5 of Decree 613 of 2017.

Keywords: cannabinoids, medical cannabis, characterization, productivity, agronomic evaluation test (AET), tetrahidrocannabinol, cannabidiol.



Introducción

La planta del cáñamo, *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae), contiene más de 400 compuestos y sustancias químicas llamadas cannabinoides (Ashton, 2001). Durante los últimos años, se ha avanzado en el conocimiento de las propiedades de algunas de estas moléculas en el organismo humano y se ha descrito su conexión con el sistema cannabinoide endógeno (Durán & Capellá, 2004). Paralelamente, se han realizado múltiples estudios, principalmente sobre sus efectos farmacológicos, tanto adversos como terapéuticos (Abanades et al., 2005).

Si bien el *Cannabis* sp. contiene varias sustancias metabólicas de uso médico, hay dos compuestos cuyos auges han acaparado la atención en los últimos años: tetrahidrocannabinol (THC) y cannabidiol (CBD) (Ashton, 2001). Algunos estudios, como el realizado por Contreras (1978), presentan el THC como un compuesto de efectos psicoactivos, contrario al compuesto CBD, el cual se reporta como sedante. Disertaciones de este tipo han dado lugar a que se catalogue erróneamente al CBD como medicinal, queriéndolo diferenciar del THC, como no medicinal o de uso recreativo; obviamente esta clasificación es inexacta, ya que ambos componentes han sido evaluados mediante ensayos clínicos para diferentes fisiopatologías humanas (Hollister, 1971).

Al respecto, se reportan investigaciones sobre dolor neuropático (Durán & Capellá, 2004), tratamiento de cáncer (Mayorga & Cárdenas, 2009), dolor neuropático de tipo central en pacientes con esclerosis múltiple (Maldonado et al., 2010), epilepsia refractaria (Vaudagna et al., 2018) y enfermedad de Parkinson (Rivero et al., 2019), entre otras. No obstante, el mayor interés está concentrado en tratamientos con los cannabinoides THC y CBD. Chandra et al (2017) resalta la necesidad de investigar sobre esta planta, ya que se han encontrado otros metabolitos, como la cannabidivarina, con un amplio potencial para el tratamiento específico de la epilepsia. Anežka et al. (2018) aducen que, dada la creciente incidencia de enfermedades autoinmunes, su potencial tratamiento con sustancias cannábicas y la existencia de por lo menos unos 700 genotipos de cannabis diferentes, resulta prioritario describir a detalle su cultivo, rendimientos potenciales, perfil químico y estabilidad, para generar recomendaciones particulares a pacientes con diagnósticos específicos.

Acorde con esta relevancia creciente en el uso del cannabis, las legislaciones de muchos países han ido adaptándose, tomando en consideración sus diferentes usos potenciales: medicinal, industrial, científico o recreativo (Aguilar et al., 2018). Por ejemplo, en 2014 y mediante la Ley Agrícola, Estados Unidos permitió el cultivo industrial de *C. sativa* L., pero con restricciones sobre sus contenidos de THC (0,3 % o menos), lo cual hizo necesario evaluar la variación en este rasgo en particular debido a los efectos ambientales y las interacciones genotipo-ambiente que suelen generar variaciones importantes en sus metabolitos (Campbell et al., 2019).

Mediante la Ley 630 de 1986, el Estado colombiano inició la reglamentación del cultivo y la fabricación de derivados del *Cannabis* sp. con fines de uso medicinal, pero es solo hasta el año 2017, mediante el Decreto 613, el cual reglamenta la Ley 1787 de 2016 y se subroga el título 11 de la parte 8 del libro 2 del Decreto 780 de 2016, en relación con el acceso seguro e informado al uso médico y científico del cannabis, que se da el inicio al trasegar burocrático hacia la legalidad agrícola de la planta (Minjusticia, 2020). No obstante, si bien este marco normativo despejó la

vía para la producción a gran escala, fueron apareciendo las dificultades propias de generar agroindustria a partir de especies poco conocidas en Colombia. En abril del 2020, el Ministerio de Justicia y del Derecho otorgó 98 licencias para el uso de semillas para siembra, 164 para el cultivo de plantas de cannabis psicoactivo y 394 para el cultivo de plantas de cannabis no psicoactivo (Minjusticia, 2020). Por su parte, el Ministerio de Salud otorgó 171 licencias para fabricación de sus derivados (Minsalud, 2020).

El Ministerio de Justicia y del Derecho de Colombia ha excluido de la lista de cultivos al margen de la ley a *C. sativa* L., sin embargo, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) es la entidad que reglamenta su cultivo. Todo material que pretenda iniciar siembras comerciales o agroindustriales y del que no exista producción histórica en nuestro país, con algunas excepciones, debe realizar una prueba de evaluación agronómica (PEA) (Instituto Colombiano Agropecuario, 2004). Este proceso implica la siembra y la demostración de la estabilidad del cultivo evaluado en una subregión determinada y durante un ciclo completo, respecto a su comportamiento fisiológico, fitosanitario y productivo. El ICA desarrolló un protocolo para la realización de las PEA y en dicho protocolo se plantea la evaluación de 34 características agronómicas, que según la PEA se desarrolla a partir de materiales asexuales o sexuales (Instituto Colombiano Agropecuario, 2004). Los resultados de esta actividad constituyen un insumo fundamental para el potencial productor de *Cannabis* sp., máxime si se considera que, hasta el reciente auge, las experiencias en Colombia con cultivos de esta especie a intemperie estaban limitadas a zonas remotas de difícil acceso y en condiciones de clandestinidad, donde las técnicas de cultivo son muy diferentes de las que habrían de implementarse en proyectos que se desarrollen a nivel agroindustrial.

En tal sentido, se hace necesario evaluar el comportamiento productivo del cannabis bajo condiciones de cubierta plástica, conocidas en nuestro medio como invernaderos. Asimismo, Stack et al. (2021) indican que el dramático crecimiento que se ha visto durante la última década en la producción de especies sativas exige caracterizar con urgencia el germoplasma disponible y desarrollar conocimientos para acelerar la reproducción de cultivares uniformes y estables. Casano et al. (2011) resaltan la necesidad de caracterizar las propiedades de las variedades de *Cannabis sativa* L., entre otras razones, por su amplia variabilidad en las concentraciones de metabolitos secundarios activos, en particular, los cannabinoides, y por la amplia gama de terpenoides y flavonoides presentes. Adicionalmente, Bernstein et al. (2019) plantean la necesidad de identificar varios efectos de tratamientos agronómicos sobre las propiedades fisiológicas y químicas del cannabis medicinal y los compuestos activos suministrados a los pacientes. Desde el punto de vista agronómico, Zuk-Golaszewska y Golaszewski (2018) afirman que se requiere más investigación, debido a que el conocimiento existente sobre el cannabis está fragmentado, especialmente respecto a su comportamiento frente a requisitos de suelos y sustratos, regímenes de fertilización, tiempos de cosecha, etc.

Por lo anterior, mediante este estudio se buscan aportar elementos para la planeación agronómica de cultivos de *Cannabis* sp. a nivel agroindustrial, así como encontrar valores cuantitativos que permitan comparaciones con futuras investigaciones, a través de procedimientos y resultados de una prueba de evaluación agronómica realizada con seis genotipos de *Cannabis* sp. no psicoactivo, en la región andina alta entre los 1800 y los 2200 m s.n.m., del departamento de Antioquia, Colombia.

Materiales y métodos

Los genotipos de cannabis se evaluaron de acuerdo con el protocolo de ejecución de pruebas de evaluación agronómica estipulado por el ICA, el cual incluye tanto el diseño experimental como las variables de evaluación (Instituto Colombiano Agropecuario, 2004).

Material vegetal

Se evaluaron seis genotipos preexistentes en la fuente semillera registrada ante el ICA, para cuya referencia se usa la nomenclatura de la tabla 1.

Tabla 1. Nombre y nomenclatura de los genotipos evaluados

Genotipo	Nomenclatura
Coral	V1
Juanita	V2
Lupita	V3
Santa Rita	V4
Guatapé	V5
Bio	V6

Fuente: Elaboración propia

Diseño estadístico

Se usó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con tres réplicas y, con el fin de propiciar la convergencia a la distribución normal, cada réplica o unidad experimental estuvo conformada por un conjunto de 20 plantas.

Ubicación

La prueba se desarrolló en el municipio de Guatapé, vereda Santa Rita, con coordenadas de latitud 6,295061 N y longitud -75,150905 O, en la zona de embalses ubicada en el oriente del departamento de Antioquia, Colombia, la cual es clasificada por el ICA como una subregión natural andina alta, es un área fría moderada con altitudes entre los 1800 m s.n.m. y los 2200 m s.n.m.

Manejo agronómico

La siembra se realizó a partir de esquejes bajo cubierta plástica (invernadero), con laterales en malla antitrips, sistema de fertirriego por goteo y ventilación forzada. La densidad de siembra empleada para todos los materiales fue de cuatro plantas por metro cuadrado y cada planta se sembró en un matero fabricado en geotextil negro de 21 L de capacidad. El sustrato utilizado en todos los tratamientos fue una mezcla homogenizada con 70 % de ceniza de cascarilla de arroz, 27 % de cascarilla de arroz cruda y 3 % de dos tipos de arcillas tipo 2:1 montmorillonitas con una capacidad de intercambio catiónico superior a 100 mS/cm.

Enraizamiento

Para tal efecto, se usaron esquejes con una longitud aproximada de 10 cm en un medio de siembra de 100 % turba. Para estimular la emisión de raicillas, la base del esqueje se impregnó con un producto, cuyos principales componentes son el ácido indol acético (AIA) y el ácido indol butírico (AIB). Se colocó un esqueje en cada una de las cavidades de las bandejas de enraizamiento hasta completar 100 esquejes por genotipo, para un total de 600 y se empleó un fotoperiodo de 18 horas de luz por seis horas de oscuridad, donde el riego suministrado fue por aspersión.

Todos los esquejes fueron retirados de las bandejas el día 28 (tomando el día de la siembra como el día 1) y se les evaluó si estaban enraizados, teniendo en cuenta que, al retirarlos, lograrán amarrar con sus raicillas un 80 % o más de la turba dispuesta en la cavidad. Con base en esta información, se cuantificó el porcentaje de enraizamiento por material mediante el número de esquejes enraizados en relación con el total de esquejes sembrados multiplicado por 100.

Siembra en el sitio definitivo

Tras el periodo de enraizamiento, se efectuó el trasplante al sitio definitivo y se seleccionaron los 60 esquejes más homogéneos de cada material, teniendo en cuenta la altura, los rebrotes y la intensidad de su color verde, así como el estado fitosanitario.

Durante las cuatro primeras semanas (28 días) posteriores al trasplante a sitio definitivo, se continuó con un fotoperiodo de 18 horas de luz por seis de oscuridad (18/6) (Magagnini et al., 2018; Saloner et al., 2019). Luego, se suspendió el fotoperiodo 18/6 y se inició el fotoperiodo 12/12, indicado para la etapa de floración (Magagnini et al., 2018; Saloner et al., 2019). Los primeros 15 días después de este cambio lumínico pertenecen a la etapa de prefloración, completando así los 43 días referenciados. Al iniciarse la floración, trascurrieron unos 80 días hasta el momento de la cosecha, bajo fotoperiodo 12/12. En las etapas con requerimiento de luz adicional, para cumplir el fotoperiodo (18/6), se suministró luz artificial con una lámpara led de 40 W por metro cuadrado, garantizando una intensidad lumínica en la parte superior del matero o contenedor de entre 1,61 $\mu\text{mol/s/m}^2$ y 2,0 $\mu\text{mol/s/m}^2$, suficiente para simular la intensidad lumínica solar durante el día en el trópico (Thomas & Vince-Prue, 1997) y mantener una planta en estado vegetativo, como pudo evidenciarse en esta investigación.

Para el manejo fitosanitario, se instalaron por cada bloque dos trampas de cintas de color amarillo, azul y blanco, impregnadas con adherente. Dos veces a la semana se realizaba un recorrido con una aspiradora y en 70 sitios se instalaron bolsas perforadas con tres esferas de naftalina cada una.

Semanalmente, se realizaron aplicaciones preventivas con extractos a base de *Melaleuca alternifolia*, *Swinglea glutinosa*, *Stemona* sp., *Cinnamomum zeylanicum* y ají-ajo. Durante este periodo, se suministró diariamente 1 L de solución nutritiva distribuido en ocho pulsos, con una duración de tres minutos cada uno e iniciando a las 08:00 horas. La solución nutritiva para cada una de las etapas fisiológicas se elaboró con base en la propuesta de Gómez y Chica (2022), así:

Etapa vegetativa: N (220 ppm), P (100 ppm), K (150 ppm), Ca (150 ppm), Mg (100 ppm), S (132 ppm), Fe (1 ppm), Mn (0,3 ppm), Cu (0,3 ppm), Zn (0,4 ppm), B (0,8 ppm), Mo (0,4 ppm) y Na (0,2 ppm).

Etapa de floración: N (180 ppm), P (100 ppm), K (200 ppm), Ca (80 ppm), Mg (60 ppm), S (80 ppm), Fe (1 ppm), Mn (0,3 ppm), Cu (0,3 ppm), Zn (0,5 ppm), B (1 ppm) y Mo (0,2 ppm). La investigación comenzó el 30 de septiembre del 2019 y culminó el 15 de enero del 2020.

Variables evaluadas

Longitud del peciolo y longitud y ancho del foliolo central de las últimas hojas opuestas completamente abiertas

Estas medidas se tomaron al inicio de la floración y se expresaron en centímetros.

Altura de la planta

Se tomaron medidas al final de la etapa productiva, desde la base del tallo hasta el ápice de la inflorescencia apical y se expresa en centímetros.

Longitud del entrenudo del tallo principal

Las medidas se tomaron al final de la etapa productiva, en el entrenudo situado bajo el último par de hojas apicales completamente abiertas y se expresan en centímetros.

Grosor del tallo principal

Las medidas se tomaron al final de la etapa productiva, en el tercio medio de la planta y se expresan en centímetros.

Rendimiento de biomasa total fresca

Al momento de la cosecha, se pesó la parte aérea de la planta completa: tallos, hojas e inflorescencia, y se expresa en gramos.

Rendimiento de flor fresca

Al momento de la cosecha, se pesó la flor de cada planta y se expresa en gramos.

Rendimiento de flor al 13 % de humedad

Después de registrar el peso total fresco de la planta, se separaron las inflorescencias de cada una y se tomaron 30 g de flor para llevarlos a una cámara de secado hasta alcanzar un peso constante. El peso perdido representa el total de agua-humedad que contenía la muestra. A este total se le extrajo el 13 % y se le sumó al peso constante hallado en la cámara de secado. Con este dato se encontró un factor de conversión aplicado al peso fresco de flor total y se halló el peso de la flor con la humedad exigida en el protocolo. Así, se estimó el peso en gramos de flor al 13 % de humedad por metro cuadrado.

Cannabinoides y humedad

El muestreo para cuantificar los cannabinoides se realizó el día de la cosecha. Se tomaron en total 18 muestras, una por cada réplica. Cada muestra de 40 g estuvo compuesta por submuestras de varias plantas dentro de la misma réplica. Para la humedad se reportó el método AOAC 945 (AOAC International, 2016) y para la medición de cannabinoides, el laboratorio analítico reportó el PROC-TC-184 V2 2019-11-01, el cual es un método interno de medición basado en la farmacopea de Estados Unidos, basado en mediciones sobre materia seca (en este caso flor). Esta variable se expresó en porcentajes.

Días a enraizamiento

Tiempo comprendido entre la siembra del esqueje y la aparición de los primeros brotes foliares.

Días a floración

Tiempo comprendido entre el enraizamiento y la aparición de la primera inflorescencia en al menos el 50 % de las plantas.

Días a cosecha

Periodo comprendido entre el enraizamiento y la presencia de pistilos de color ámbar en más del 80 % de las inflorescencias.

Número de foliolos

La observación se efectuó al inicio de la floración, en las últimas hojas apicales opuestas y completamente abiertas.

Curvas de crecimiento

Adicionalmente a las variables recomendadas por el ICA, se registró el desarrollo de la planta a través de las curvas de crecimiento. Para ello se tomaron mediciones semanales. Antes de la floración, se hizo desde la base del tallo hasta el último entrenudo y en floración fue hasta el ápice de la inflorescencia apical dominante. Estas medidas se expresaron en centímetros.

Análisis de datos

Para eliminar el efecto borde, la información se registró sobre las 10 plantas centrales de cada réplica. Se eligió la mediana como estimador robusto del valor central de cada variable dentro de cada unidad experimental, a fin de evitar el sesgo que podría generarse por la presencia de valores extremos en plantas particulares. Para cada una de las variables, se evaluó la hipótesis global de diferencias de medias entre al menos dos grupos, usando el análisis de varianza (Anova) con una variable de clasificación en DBA. El supuesto de normalidad de los residuales se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk; el de homocedasticidad, mediante la adaptación de la prueba de Levene que sugieren O'Neill y Mathews (2002) para el diseño general de bloques y tratamientos y el supuesto de aditividad, mediante la prueba de Tukey con un grado de libertad.

Posteriormente, se realizaron todas las posibles comparaciones entre pares de medias, usando la prueba de Tukey, la cual controla la tasa de error por familia. Cuando se evidenciaron desviaciones severas de alguno de los supuestos del modelo, se usó la transformación logarítmica, mediante la cual se corrigieron las situaciones encontradas y, en tales casos, se usaron los datos transformados para realizar todos los procesos inferenciales; sin embargo, en las tablas descriptivas se mantuvieron las escalas originales. El procesamiento de la información y los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa estadístico R (R Core Team, 2022).

Resultados y discusión

Se observaron diferencias estadísticamente significativas al 5 % entre genotipos para cinco de las diez características evaluadas: ancho del foliolo central, longitud del entrenudo del tallo principal, grosor del tallo principal, porcentaje de CBD y porcentaje de THC. En la tabla 2 se presentan los cuadrados medios para las variables evaluadas, etiquetando las correspondientes significancias.

En la tabla 3 se presentan las medias muestrales de cada variable por genotipo, seguidas con las correspondientes etiquetas de membresía a grupos homogéneos basadas en la prueba de DSH de Tukey, con $\alpha = 0,05$. Consecuentemente con los resultados del Anova, la prueba DSH de Tukey solo registra diferencias entre pares de medias para las cinco variables que exhibieron diferencias estadísticamente significativas. Las productividades medias de flor fresca por planta oscilaron entre los 477,50 g (V6) y los 626,66 g (V5). Bajo la densidad de siembra utilizada en esta investigación, de cuatro plantas por metro cuadrado, es posible proyectar una productividad de flor seca al 13 % desde 158,99 g (V6) hasta 208,65 g (V5) por metro cuadrado. Este rango de producción coincide con los valores reportados por Ramírez et al. (2019), quienes caracterizaron algunos indicadores productivos del cannabis medicinal en Colombia para Fedesarrollo y

presentan una producción de flor seca por metro cuadrado de 180 g, obtenidos con densidades de siembra entre 1 y 4 plantas por metro cuadrado, en siembras con áreas promedio de 2,1 ha.

No se presentó una relación significativa entre la producción de biomasa total fresca (inflorescencias, hojas, tallos, ramas secundarias y terciarias) y la biomasa de flor fresca, lo cual indica que una mayor cantidad de hojas y tallos no redundan necesariamente en un incremento de la inflorescencia.

La altura de la planta es particularmente relevante para el manejo agronómico del cultivo, por ser determinante en las condiciones en las que los operarios deben realizar las labores culturales. Plantas muy altas, alrededor de los 200 cm, dificultan las labores como fumigaciones, monitoreos y cosecha. Según los datos reportados en la tabla 3, las medias muestrales para esta variable oscilaron entre 78,87 cm (V5) y 96,43 cm (V6), y al tener en cuenta que la altura de las macetas utilizadas en este trabajo fue de 40 cm, las máximas alturas alcanzadas del conjunto maceta-planta estuvieron alrededor de los 136 cm, lo que resultó bastante ergonómico para la realización de tareas por parte de la mayoría de los operarios.

No obstante, no existen reportes sobre el mejoramiento genético para *Cannabis* sp. relacionados con la altura, pero sí existen investigaciones realizadas en otras especies, como el café, donde el bajo porte que facilita las labores de cosecha fue una de las características en las que se enfocó el proceso de fitomejoramiento (Cenicafé, 1985). En una investigación para café, donde se cuantificó el desempeño de los recolectores de café según la altura de la plantación, se encontró que las plantas con alturas inferiores a 203,3 cm facilitaron la labor de cosecha (Villegas-Bueno et al., 2005), sin embargo, Vélez et al. (1999) argumentaron que, para la misma especie, alturas menores a 203,3 cm disminuyeron la eficiencia de la cosecha, debido a que el cosechador debe permanecer de rodillas para no dejar frutos en la parte inferior del árbol ni el suelo (este aspecto del bajo porte no aplica para el caso de cannabis). El porte de la planta también debe tenerse presente para la adecuada planeación de la distancia vertical entre los emisores de la luz artificial (focos-lámparas) y la planta. La distancia utilizada en este trabajo estuvo alrededor de 2 m, medidos desde la base de la maceta. Esta distancia, además, garantizó la intensidad lumínica recomendada para el manejo del fotoperiodo en la etapa vegetativa.

Para todas las variedades hubo coincidencia en días para el enraizamiento (28), la floración (43) y la cosecha (80). El número de foliolos por hoja varió entre cinco y siete y las variables medidas en días son indispensables para la planeación de las labores y los ciclos de cultivo. Si se suman los 28 días para el enraizamiento, más los 43 días para la floración y los 80 días para la cosecha, se tiene que un ciclo completo duraría alrededor de 151 días, esto significa que bajo las condiciones de la evaluación, cuya temperatura osciló entre los 22 °C y los 28 °C y una humedad relativa entre el 65 % y el 75 %, se podrían alcanzar 2,5 ciclos al año; no obstante, la etapa de enraizamiento puede ser desarrollada como una parte del ciclo, independiente a las etapas vegetativa y de floración. Así, se puede tener una zona de enraizamiento constante que surta de esquejes a la zona estrictamente denominada de producción, donde se desarrollarían las etapas vegetativas y de floración y se podrían tener alrededor de tres cosechas de flor al año.

Los días de enraizamiento se convierten en un indicativo clave para planear otra parte fundamental del cultivo de cannabis: las plantas madre. No obstante que el cultivo de tejidos a

partir de materiales crioconservados es el mejor método para mantener plantas madre con vigor genético constante, no todos los cultivos tienen acceso a esta tecnología. Al respecto, Pasquel (2021) argumenta que una de las ventajas de esta metodología para mantener el vigor de las variedades seleccionadas es que bajo la modalidad de propagación se evita el cruzamiento natural de una especie dioica, como el cannabis, que se poliniza fácilmente por factores como el viento. Adicionalmente, la crioconservación es una técnica que optimiza recursos como luz solar, suelo, espacio y nutrientes, entre otros (Thacker et al., 2018).

En la actualidad, las plantas madre se obtienen seleccionando los mejores individuos y, de ellos, los mejores propágulos o esquejes. De allí que los días de enraizamiento de los esquejes deben ser sumados a los días vegetativos para planear el tiempo total requerido y necesario para obtener el remplazo de las plantas madre que saldrán del cultivo.

Tabla 2. Cuadrados medios para ocho variables evaluadas en seis genotipos de *Cannabis* sp. no psicoactivo

Fuentes de variación	Cuadrados medios										
	GL	Longitud del peciolo	Ancho del foliolo central	Longitud del foliolo central	Altura de la planta	Longitud del entrenudo en el tallo principal	Grosor del tallo principal	Rendimiento de la biomasa total fresca	Rendimiento de la flor al 13 %	% de CBD	% de THC
Bloques	2	0,15	1,19e-07	0,53	62,18	0,09	0,11	6813	0,64	1,29	< 0,001
Genotipos	5	0,78 (NS)	5,11e-07**	3,97 (NS)	113,28 (NS)	0,39***	1,33***	10,911 (NS)	0,02 (NS)	6,58***	0,158***
Error	10	0,51	8,56e-08	1,58	67,42	0,03	0,03	11,655	0,04	0,65	0,002
CV (%)		11,65	0,16	7,60	9,38	3,63	2,65	12,25	3,65	7,51	10,41

Notas aclaratorias: nivel de significancia no significativa (NS): *(0,05), *(0,01), *(0,001), CV: coeficiente de variación y GL: grados de libertad.

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3. Medias muestrales para ocho variables evaluadas en seis genotipos de *Cannabis* sp. no psicoactivo

Variedades	Longitud del peciolo	Ancho del foliolo central	Longitud del foliolo central	Altura de la planta	Longitud del entrenudo en el tallo principal	Grosor del tallo principal	Rendimiento de la biomasa total fresca	Rendimiento de la flor fresca	Rendimiento de la flor al 13 %	% de CBD	% de THC
	cm	cm	cm	cm	cm	mm	g	g	g	%	%
V1	5,77 a	2,47 ab	17,52 a	89,63 a	4,95 a	6,27 c	770,00 a	568,33 a	189,23 a	11,27 b	0,58 a
V2	5,73 a	3,13 a	17,75 a	82,75 a	4,90 a	7,00 b	915,00 a	617,50 a	205,60 a	10,82 b	0,52 a
V3	6,13 a	3,50 ab	15,50 a	87,25 a	4,87 a	6,33 c	915,83 a	615,83 a	205,05 a	11,97 b	0,57 a
V4	5,67 a	3,00 a	17,47 a	90,20 a	4,85 a	7,02 b	925,00 a	587,50 a	195,61 a	10,84 b	0,53 a
V5	7,00 a	2,42 b	15,13 a	78,87 a	4,93 a	8,07 a	909,17 a	626,66 a	208,65 a	7,81 a	0,01 b
V6	6,33 a	2,50 ab	16,00 a	96,43 a	4,02 b	6,57 bc	853,33 a	477,50 a	158,99 a	11,50 b	0,62 a

Nota aclaratoria: las medias con la misma letra en sentido vertical no difieren significativamente con $\alpha = 0,05$ (DSH Tukey).

Fuente: Elaboración propia

Curva de crecimiento

En la figura 1 se presenta la curva de crecimiento construida a partir del comportamiento fisiológico de los seis genotipos evaluados. Se denominó etapa de crecimiento vegetativa al tiempo transcurrido desde el trasplante de la planta al sitio definitivo, lo que fue hasta los 28 días, tiempo coincidente con el suministro de luz artificial adicional para un fotoperiodo de 18/6, 18 horas de luz por 6 horas de oscuridad. La mayor altura para esta etapa la presentó V6 con 60,6 cm, la de menor altura fue V5 con 49,3 cm, presentándose una diferencia de 11,39 cm entre ambas. La etapa de prefloración transcurre una vez se retiran las luces y al final de la etapa vegetativa, hasta que al menos el 50 % de las plantas inicien floración, marcado este inicio con la ocurrencia de los primeros pistilos (día 43), después del trasplante al sitio definitivo.

Consecuentemente, se observó que V6 alcanzó la mayor altura, con un promedio de 88,5 cm, mientras que el genotipo de menor altura fue V5 con 75,5 cm, presentándose una diferencia de 13 cm entre ambas y manteniendo esta diferencia alcanzada al final de la etapa vegetativa. Al terminar el crecimiento, el promedio de altura alcanzado por las variedades a los 80 días fue de 87,18 cm, encontrándose una diferencia de 16,91 cm entre V6 (96,43 cm) y V5 (con 79,87 cm).

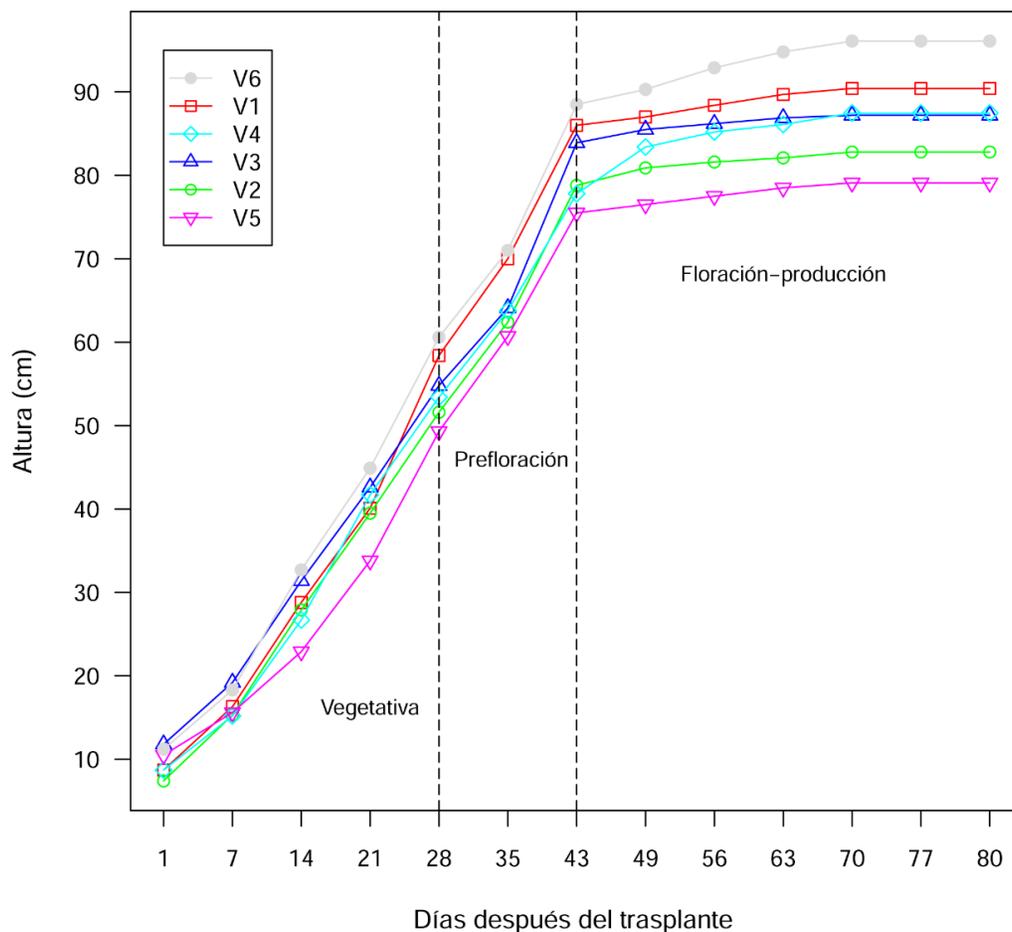


Figura 1. Comportamiento del crecimiento de seis genotipos de *Cannabis* sp. no psicoactivo
Fuente: Elaboración propia

Cannabinoides

Los objetivos comerciales para nuestro país se centran fundamentalmente en la producción de las flores o la inflorescencia de la planta de cannabis, no obstante, son las sustancias denominadas cannabinoides, contenidas en esta estructura, las que toman mayor relevancia al momento de hacer el cierre comercial. Esto es debido a que lo fundamental en última instancia son los aceites extraídos de la flor con determinados contenidos de los cannabinoides más representativos y de mayor interés para el área medicinal. Estos corresponden al delta-9-tetrahidrocannabinol (THC), cannabidiol (CBD), cannabinol (CBN), cannabicromeno (CBC) y cannabigerol (CBG), sin embargo, para el caso regulatorio en Colombia y los procesos de obtención de registros ante el ICA, los análisis se concentran en el contenido de THC y CBD. En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para estos dos cannabinoides.

El resultado de los cannabinoides es imprescindible para calcular la productividad de las variedades en términos de calidad y cantidad de los aceites extraídos y sus respectivos contenidos de CBD y THC; no obstante, este dato por sí solo es insuficiente y lo más indicado para hallar el verdadero dato de productividad es tener en cuenta la cantidad de flor producida. Un dato más acertado se obtiene de multiplicar la cantidad de cannabinoide por la cantidad de flor y extrapolarla a la unidad productiva, que en la mayoría de los casos es el metro cuadrado. Por ejemplo, V6 reportó 11,50 % CBD, un valor mayor que el 11,27 % de V1, no obstante, la mayor producción de biomasa de flor seca de V1 hace que al final la cantidad de CBD total sea mayor a favor de este material (21,33 g), frente a 18,28 g de V6.

Tabla 4. Porcentaje de CBD total en seis genotipos de *Cannabis* sp. no psicoactivo

Genotipo	% THC *	% CBD *	Flor seca (g)**	CBD total (g)
V1	0,58	11,27	189,23	21,33
V2	0,52	10,82	205,60	22,25
V3	0,57	11,97	205,05	24,54
V4	0,53	10,84	195,61	21,20
V5	0,01	7,81	208,65	16,30
V6	0,62	11,50	158,99	18,28

Notas aclaratorias: *promedio de tres réplicas y **flor seca con el 13 % de humedad.

Fuente: Elaboración propia

Recomendaciones

En el ámbito fitosanitario es necesario emprender investigaciones tendientes a lograr variedades resistentes a *Fusarium* sp. y *Botrytis* sp., ya que las enfermedades causadas por estos microorganismos pueden producir pérdidas de hasta un 100 % en plantaciones comerciales. Desde el punto de vista fisiológico, sería interesante aumentar la concentración de los cannabinoides de mayor interés (THC-CBD) en la estructura más comercial de la planta: la inflorescencia.

Conclusiones

Bajo las condiciones tropicales en las que se desarrolló esta investigación, es posible lograr que una planta de cannabis produzca en promedio hasta 208,65 g de flor seca con un 13 % de humedad y hasta un 11,97 % de CBD y un THC por debajo de un 1 %, cumpliendo con los parámetros para ser catalogada como material no psicoactivo.

Las características fenotípicas disímiles entre los genotipos evaluados de cannabis, como el grosor del tallo principal, el ancho del foliolo central y la longitud del entrenudo del tallo principal, no incidieron en la productividad de flor de las variedades evaluadas.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Contribución de los autores

Mayra Fernanda Gómez García: registro de la información en campo, construcción de las bases de datos, análisis de la información y elaboración del manuscrito; Fáber de Jesús Chica Toro: registro de la información en campo, construcción de las bases de datos, análisis de la información y elaboración del manuscrito, Guillermo Antonio Correa Londoño: análisis de la información y elaboración del manuscrito.

Implicaciones éticas

Se obtuvo el consentimiento de las empresas Anutea S. A. S. y Bioterra Group S. A. S. para usar la información presentada en el artículo.

Conflictos de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

Se obtuvo financiamiento de las empresas Anutea S. A. S. y Bioterra Group S. A. S.

Referencias

- Abanades, S., Cabrero-Castel, A., Fiz, J., & Farre, M. (2005). Farmacología clínica del cannabis. *Dolor*, 20, 187-198. <http://public-files.prbb.org/publicacions/9511f434-4494-4e68-9ad8-b56c3b6aba88.pdf>
- Aguilar, S., Gutiérrez, V., Sánchez, L., & Nougier, M. (2018). *Políticas y prácticas sobre cannabis medicinal en el mundo*. <https://idpc.net/es/publications/2018/04/politicas-y-practicas-sobre-cannabis-medicinal-en-el-mundo>
- Anežka, J., Fraňková, A., Tlustoš, P., Hamouz, K., Božik, M., & Klouček, P. (2018). Yield and cannabinoids contents in different cannabis (*Cannabis sativa* L.) genotypes for medical use. *Industrial Crops and Products*, 112, 363-367. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.006>
- AOAC International. (2016). *AOAC 945: Official Methods of Analysis-OMA*. http://www.techstreet.com/standards/official-methods-of-analysis-of-aoac-international-20th-edition-2016?product_id=1937367
- Ashton, C. H. (2001). Pharmacology and effects of cannabis: a brief review. *The British Journal of Psychiatry*, 178, 101-6. <https://doi.org/10.1192/bjp.178.2.101>
- 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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00736>
- Campbell, B. J., Berrada, A. F., Hudalla, C., Amaducci, S., & McKay, J. K. (2019). Genotype × environment interactions of industrial hemp cultivars highlight diverse responses to environmental factors. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2(1), 1-11. <https://doi.org/10.2134/age2018.11.0057>
- Casano, S., Grassi, G., Martini, V., & Michelozzi, M. (2011). Variations in Terpene Profiles of Different Strains of *Cannabis Sativa* L. *Acta Horticulturae*, 925, 115-121. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.925.15>
- Cenicafé. (1985). *Mejoramiento del café, 40 años de investigación en Cenicafé*. Caldas, Colombia: Cenicafé.
- Chandra, S., Lata, H., ElSohly, M. A., Walker, L. A., & Potter, D. (2017). Cannabis cultivation: methodological issues for obtaining medical-grade product. *Epilepsy & Behavior*, 70, 302-312. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2016.11.029>
- Contreras, C. (1978). La Cannabis. *Salud Mental*, 1(2), 10-18. http://www.revistasaludmental.mx/index.php/salud_mental/article/view/10
- Durán, M., & Capellá, D. (2004). Uso terapéutico de los cannabinoides. *Adicciones*, 16(2), 143-152. <https://doi.org/10.20882/adicciones.412>
- Gómez, M. F., & Chica, F. J. (2022). *Manual básico para el cultivo de Cannabis sp. bajo cubierta plástica*. Medellín, Colombia: Divergráficas SAS.
- Hollister, L. E. (1971). Marihuana in man: three years later. *Science*, 172(3978), 21-29. <https://doi.org/10.1126/science.172.3978.21>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2004). *Protocolo para la ejecución de Pruebas de Evaluación Agronómica de genotipos de Cannabis sp.* <https://www.studocu.com/co/document/instituto-tecnico-colombiano/dispensacion-de-medicamentos/protocolo-pruebas-de-evaluacion-agronomica-de-cannabis/36836518>

- Magagnini, G., Grassi, G., & Kotiranta, S. (2018). The effect of light spectrum on the morphology and cannabinoid content of *Cannabis sativa* L. *Medical Cannabis and Cannabinoids*, 1(1), 19-27. <https://doi.org/10.1159/000489030>
- Maldonado, J., Álvarez, A. M., & Rodríguez, M. (2010). Efectividad y efectos secundarios del tratamiento con cannabinoides en dolor neuropático de tipo central en pacientes con esclerosis múltiple. *Revista Médica*, 18(1), 77-83. <https://doi.org/10.18359/rmed.1293>
- Mayorga, N., F., & Cárdenas S., R. H. (2009). Los endocannabinoides: una opción terapéutica para el tratamiento del cáncer. *Vitae*, 16(2), 259-267. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042009000200011
- Minjusticia. (2020). *Licencia de uso de semillas para siembra, licencia de cultivo de plantas de cannabis psicoactivo y licencia de cultivo de plantas de cannabis no psicoactivo*. <https://www.minjusticia.gov.co/programas-co/cannabis-con-fines-medicinales-y-cientificos>
- Minsalud. (2020). *Licencias de fabricación de derivados de cannabis*. <https://www.minsalud.gov.co/salud/MT/Paginas/cannabis-uso-medicinal.aspx>
- O'Neill, M. E., & Mathews, K. L. (2002). Levene Tests of Homogeneity of Variance for General Block and Treatment Designs. *Biometrics*, 58(1), 216-224. <https://doi.org/10.1111/j.0006-341X.2002.00216.x>
- Pasquel, K. M. G. (2021). Aplicaciones Biotecnológicas, un estudio al cultivo *in vitro* de *Cannabis*. *Revista Biorrefinería*, 4(4). <https://www.cebaecuador.org/wp-content/uploads/2022/03/Biorrefineri%C3%A9a-04-2022.pdf>
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Ramírez, J., Naranjo, J., & Torres, A. (2019). *Fedesarrollo: la industria del Cannabis medicinal en Colombia*. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3823/Repor_Diciembre_2019_Ram%C3%ADrez.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Rivero, T., Hernández-Abad, L. G., De la Cruz Muros, I., & González Marrero, I. (2019). Uso terapéutico de los cannabinoides en la enfermedad de Parkinson, revisión. *Majorensis*, 15, 1-8. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6847062>
- 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, 1369. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01369>
- Stack, G. M., Toth, J. A., Carlson, C. H., Cala, A. R., Marrero-González, M. I., Wilk, R. L., & Smart, L. B. (2021). Season-long characterization of high-cannabinoid hemp (*Cannabis sativa* L.) reveals variation in cannabinoid accumulation, flowering time, and disease resistance. *GCB Bioenergy*, 13(4), 546-561. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12793>
- Thacker, X., Thomas, K., Fuller, M., Smith, S., & DuBois, J. (2018). Determination of Optimal Hormone and Mineral Salts Levels in Tissue Culture Media for Callus Induction and Growth of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.). *Agricultural Sciences*, 9(10), 1250-1268. <https://doi.org/10.4236/as.2018.910088>
- Thomas, B., & Vince-Prue, D. (1997). *Photoperiodism in plants*. San Diego, California, Estados Unidos: Academic Press.

- Vaudagna, M. P., Vergara, G., Martínez, A., Paviolo, M., Miculan, J., Linzoain, J., Sfaello, Z., & Sfaello, I. (2018). Uso del cannabis en 16 pacientes con epilepsia refractaria. *Methodo*, 3(2), 29-31. [https://doi.org/10.22529/me.2018.3\(2\)02](https://doi.org/10.22529/me.2018.3(2)02)
- Vélez, J. C., Montoya, E. C., & Oliveros, C. E. (1999). Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café. *Boletín Técnico Cenicafé*, 21, 1-91. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2801%29050-066.pdf>
- Villegas-Bueno, M. J., Montoya-Restrepo, E. C., Vélez-Zape, J. C., & Oliveros-Tascón, C. E. (2005). Desempeño de los recolectores de café según la altura de la plantación. *Cenicafé*, 56(1), 19-36. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2015/12/desempeno-de-los-recolectores-de-cafe.pdf>
- Zuk-Golaszewska, K., & Golaszewski, J. (2018). Cannabis sativa L. cultivation and quality of raw material. *Journal of Elementology*, 23(3). <https://doi.org/10.5601/jelem.2017.22.3.1500>