

Fenología de diez cultivares de *Cannabis sativa* L. bajo las condiciones ambientales de Palomino, la Guajira

Phenology of ten cultivars of *Cannabis sativa* L. under the environmental conditions of Palomino, La Guajira

David A. Candelario-Guerrero¹ , Luis E. Calabria-Parodi¹ , Catherine Pardey-Rodríguez¹ *  y Jhon Jairo Vargas- Sanchez² 

1. Grupo de investigación de Fitotecnia del Trópico, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

2. Grupo de investigación Estadística y Métodos cuantitativos, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

Resumen

Los estudios sobre fenología de *Cannabis sativa* L. son una herramienta al momento de realizar prácticas de manejo del cultivo como la aplicación de fertilizantes, el manejo de plagas y enfermedades, y para valorar la adaptación del cultivo a las condiciones climáticas. La fenología estudia la ocurrencia de las fases en el ciclo de vida de las plantas, para su determinación es necesario el uso de la escala BBCH que codifica las etapas fenológicas días después del trasplante. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de 10 genotipos de *Cannabis sativa* L. bajo condiciones de invernadero en etapas vegetativa, floración y cosecha para identificar los genotipos con la mejor adaptación a las condiciones climáticas en el corregimiento de Palomino. Las variables a evaluar fueron: altura de la planta, número de brotes, número de inflorescencias, índice de cosecha y rendimiento expresado en flor seca. Los datos de altura, brotes e inflorescencia se registraron tres veces por semana durante 10 semanas y en la semana 10 se cuantificó la altura final. El índice de cosecha y rendimiento se estimó al momento de la cosecha. El diseño estadístico fue completamente al azar con 10 tratamientos y 6 repeticiones por tratamiento. Los resultados mostraron que, de 58 etapas fenológicas definidas para Cannabis, en un ciclo asexual solo se evalúan 19 etapas. Además, con los datos recolectados de ganancia de altura, brotes e inflorescencias, se puede predecir quienes serán los genotipos más rendidores. El rendimiento de flor seca está influenciado por la longitud de la planta, número de brotes y número de inflorescencias; igualmente, el índice de cosecha mostró ser un indicador al momento de determinar el rendimiento de cada genotipo. El genotipo mejor adaptado a la zona de estudio fue PS111 por la altura, la cantidad de brotes vegetativos, inflorescencias y el rendimiento.

Palabras clave: fases de crecimiento; escala BBCH; fenología; *Cannabis*

Abstract

Studies on the phenology of *Cannabis sativa* L. are vital because they are an excellent tool for crop management practices, such as fertilizer application, pest and disease management, and determining the adaptations needed for crop cultivation under different climatic conditions. Phenology studies the occurrence of phases in the life cycle of plants; therefore, for determining the moments of phenological events, it is necessary to use tools facilitating the process of interpreting the information taken in the field; accordingly, the BBCH scale was adapted to determine the phenological phases taking into account the days after transplantation. The work's objective was to evaluate the phenology of ten Cannabis sativa L. genotypes to identify the genotypes with the best performance under greenhouse conditions in Palomino. The variables considered were: plant height, number of sprouts, number of inflorescences, harvest index, and yield expressed in dry flower quantity. Height, sprout, and inflorescence data were recorded three times a week for ten weeks, and at week ten, the final height was quantified. Harvest index and yield were estimated at harvest time. The statistical design was completely randomized, with ten treatments and six repetitions per treatment. The results showed that of 58 phenological stages defined for Cannabis in an asexual cycle, only 19 stages are evaluated. In addition, with data collected on height gain, sprouts, and inflorescences, allows the prediction of the higher-yielding genotypes. The dry flower yield is influenced by the length of the plant, number of buds, and number of inflorescences; likewise, the harvest index proved to be a good indicator when determining the performance of each genotype. The genotype best adapted to the climatic conditions of the trial area was PS111 due to height, the number of vegetative sprouts, inflorescences, and yield.

Key words: growth phases; BBCH scale; phenology; *Cannabis*

*Autor de correspondencia: catty68@hotmail.com

Editora: Mónica Lugo

Recibido: 04 de junio de 2022

Aceptado: 28 de abril de 2023

Publicación en línea: 28 abril de 2023

Citar como: Candelario-Guerrero D. A., Calabria-Parodi L. E., Pardey-Rodríguez, C., Vargas-Sánchez, J. J. (2023). Fenología de diez cultivares de Cannabis sativa L. bajo las condiciones ambientales de Palomino, la Guajira. Intropica, 18 (1). <https://doi.org/10.21676/23897864.4672>.



Introducción

A nivel global, el *Cannabis* ha sido reconocido con muchos nombres científicos, como *C. indica*, *C. afgana*, *C. ruderalis*, etc. Sin embargo, botánicos de diferentes nacionalidades han considerado que es una especie monotípica, y el único nombre aceptado por esta comunidad es *C. sativa* L. (Bernal *et al.*, 2019; Missouri Botanical Garden, 2022; Royal Botanic Gardens, 2022).

Desde que el hombre empezó a domesticar los cultivos hace más de 10 000 años, el *Cannabis* ha sido utilizado por la humanidad con fines medicinales, textiles, alimenticios y recreativos (Suárez *et al.*, 2018). Esta planta es originaria de Asia central, y su registro más antiguo corresponde a las montañas del Cielo, en China (Russo *et al.*, 2008). Es considerada una planta herbácea anual, dioica, con hojas palmiformes de cinco a siete segmentos largos y dentados. Por lo general, el primer par de hojas tiene un foliolo, y el segundo par, tres foliolos, los cuales van aumentando hasta llegar a once o doce (Suárez *et al.*, 2018). Las inflorescencias masculinas se caracterizan por ser ramificadas y laxas, mientras que las inflorescencias femeninas son densas. El fruto es un aquenio, que puede tener una tonalidad blanquecina, verdosa o púrpura, y su composición química ha sido estudiada ampliamente. De este modo se han identificado más de 500 compuestos, entre los cuales los más estudiados son el Δ^9 -tetrahidrocannabinol (THC) y el cannabidiol (CBD) (Ángeles *et al.*, 2014).

Por estas características, tanto botánicas como químicas, *C. sativa* ha sido considerada de gran interés investigativo. No obstante, de igual forma ha sido relegada del ámbito científico durante mucho tiempo, opacando sus diversas cualidades terapéuticas (Ángeles *et al.*, 2014). En Colombia, en particular, las restricciones sobre el uso de esta planta a lo largo de los años han estado influenciadas por el ámbito internacional, con políticas que se caracterizaron por ser represivas y poco efectivas durante el siglo XX (Guzmán y Uprimny, 2010). Sin embargo, recientemente, gracias a iniciativas gubernamentales como el Decreto 613 de 2017 y el Decreto 811 de 2021 del Ministerio de Salud y Protección Social, donde se reglamenta el acceso seguro e informado al uso médico y científico del *Cannabis*, la academia cuenta con herramientas para realizar e incentivar investigaciones en torno a esta especie a nivel nacional, lo que aumentó el interés sobre su cultivo. Por ello, el proyecto aquí descrito pretende proporcionarle a la comunidad científica y agrícola colombiana conocimiento sobre el desarrollo fenológico de la planta bajo condiciones de invernadero.

La fenología estudia la ocurrencia de las fases en el ciclo de vida

de las plantas (De Marco *et al.*, 2021). En este caso, el término “fase” se relaciona con la aparición o desaparición de los órganos vegetales; así, se cuenta, por ejemplo, con la fase de emergencia o la fase de floración, las cuales dependen de factores ambientales (Torres, 1995). En efecto, la sensibilidad fotoperiódica de *C. sativa* hace que sea considerada como una planta de día corto, porque florece cuando los días se acortan y las noches se alargan (Small, 2017). Las plantas de este tipo tienen como característica que la duración de los días influye en el momento de inicio de floración (Lisson *et al.*, 2000). Asimismo, la inducción floral en *C. sativa* está estrechamente influida por factores abióticos como la temperatura, el fotoperiodo y la humedad ambiental (Casiano y Paz, 2018).

Los estudios sobre la fenología de *C. sativa* son de gran importancia porque pueden ser una herramienta a la hora de realizar prácticas de manejo de cultivo como la aplicación de fertilizantes, el control de plagas y enfermedades, y el estudio sobre la adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas (Mishchenko *et al.*, 2017). La escala BBCH (por las siglas del alemán *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie*) es una forma de codificar las etapas fenológicas de las plantas (Meier, 2018) que fue estandarizada por Mishchenko *et al.* (2017) para las fases de crecimiento de *C. sativa*. De esta manera se han identificado seis fases para dicha planta: germinación, emergencia, etapa vegetativa, floración, formación de semillas y senescencia (Mediavilla *et al.*, 1998).

El sistema BBCH para el cultivo de *C. sativa* propone ocho códigos para la etapa de germinación; diez para la aparición de las hojas; dos para la formación de brotes laterales; nueve para la elongación del tallo; tres para la inflorescencia masculina; siete para la inflorescencia femenina; nueve para el desarrollo del fruto; cinco para maduración del fruto, y cinco para la muerte de la planta. Esta codificación fue el resultado del trabajo mancomunado del Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura (BBA), el Instituto Federal de Variedades (BSA), la Asociación Alemana de Agroquímicos (IVA) y el Instituto para Horticultura y Floricultura en Grossbeeren, Erfurt, Alemania (IGZ) (Bleiholder *et al.*, 1996).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento de 10 genotipos de *C. sativa* L. bajo condiciones de invernadero e identificar aquel que mejor se hubiera adaptado a los parámetros climáticos del corregimiento de Palomino, La Guajira.

Materiales y métodos

La siembra se realizó en el segundo semestre del año 2019 bajo

un sistema productivo de invernadero ubicado en el corregimiento de Palomino, del municipio de Dibulla, en el departamento de La Guajira, Colombia. Según informes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de 2020, como condiciones climáticas externas de la zona se registran lluvias con un régimen bimodal, con una primera temporada de precipitación entre julio y agosto y una segunda temporada entre septiembre y octubre. El promedio de precipitaciones anuales para esta zona es de 500-1 000 mm (IDEAM y Universidad Nacional de Colombia (UNAL), 2020).

Para monitorear las condiciones ambientales dentro del invernadero, se instalaron sensores en cinco puntos estratégicos que hicieron seguimiento a la temperatura (°C) y a la humedad relativa (%). La luminosidad fue registrada con el luxómetro DT-8809^a-CEM. Estas lecturas se realizaron tres veces al día, durante todo el ciclo del cultivo. El microclima del invernadero se caracterizó por tener una temperatura (T°) promedio de 29,7 °C, humedad relativa (HR) promedio de 78,3 % y luminancia (LUX) promedio de 5,088.

El material vegetal fue de origen asexual y provino de plantas madre femeninas clasificadas como psicoactivas y no psicoactivas. El endurecimiento de los clones se realizó en laboratorio durante 15 días en condiciones controladas de HR y temperatura. El trasplante se llevó a cabo en macetas de 10 L, con un sustrato que constaba de una mezcla de turba de coco, perlita y micorrizas para el óptimo desarrollo radicular (Martínez *et al.*, 2011; Tchameni *et al.*, 2011).

La duración de la etapa vegetativa fue de cuatro semanas. Las plantas se expusieron a un fotoperiodo de 18 horas luz y 12 horas de luz natural, y seis horas complementarias de luz artificial con bombillas LED de 30 w. En la semana 5, las plantas fueron sometidas a la inducción floral, momento en la cual se cambió el fotoperiodo a 12 horas de luz natural y 12 horas de oscuridad. El inicio de la floración se determinó con la metodología propuesta por Amaducci *et al.* (2007), que indica darle comienzo a una etapa si el 50 % de la población de estudio presenta inflorescencias.

El manejo del cultivo se realizó de manera tradicional bajo condiciones de invernadero, con distancia de siembra de 0,55 m entre planta y 0,40 m entre surcos. La fertilización, las podas fitosanitarias, el control de plagas y el fotoperiodo se hicieron de acuerdo con los requerimientos y la finalidad del cultivo. El diseño estadístico en el invernadero fue completamente al azar, con 10 genotipos y seis repeticiones por cada uno de estos.

Las variables directas evaluadas fueron: altura de planta (cm),

número de brotes (unidades), número de inflorescencias (unidades), peso fresco del tallo (g), peso fresco de la raíz (g), peso fresco de la flor (g), peso fresco de las hojas (g) y peso seco de la flor (g). Las variables indirectas fueron índice de cosecha (IC) (%) y rendimiento (g).

Las mediciones de altura, número de brotes y número de inflorescencias se realizaron tres veces por semana para identificar el cambio de etapa. La altura de la planta se midió desde el cuello de la raíz hasta la punta del ápice de la última hoja (cm). Por otra parte, para determinar el IC se cuantificó la biomasa total de cada individuo, se separó por órganos y se obtuvieron el peso fresco de las hojas (PFH), el peso fresco del tallo (PFT), el peso fresco de las flores (PFF) y el peso fresco de la raíz (PFR). Luego se empleó la fórmula $IC = Pff/B_t$, donde PFF= peso fresco de las flores y B_t = biomasa total (la biomasa total es la suma de PFH, PFT, PFF y PFR).

Para identificar los mejores índices de ganancia entre las semanas del ciclo fenológico, en las variables altura de planta, brotes vegetativos e inflorescencia se realizó el análisis de varianza. Asimismo, cuando se presentaron diferencias estadísticas, se hizo la comparación de medias con la prueba de Duncan al 5 %.

El rendimiento por genotipo, expresado en peso seco de la flor (PSF), se determinó luego de que las inflorescencias cosechadas fueran almacenadas en el cuarto de secado a una temperatura de 19 °C y con HR del 40 % durante 10 días, hasta que el material vegetal registrara 15 % de humedad. Dicho grado de humedad del material vegetal se determinó utilizando métodos tradicionales, doblando el tallo de la inflorescencia de manera que, si este se rompía, la muestra se consideraba en el punto óptimo de secado. Las diferencias entre los rendimientos de los genotipos se evaluaron con el análisis de varianza, y las diferencias entre las medias, con la prueba de Duncan al 5 %.

Finalmente, la asociación de las variables altura de planta, número de brotes, número de inflorescencias, IC y rendimiento de los 10 genotipos de *C. sativa* se cuantificó con el coeficiente de correlación de Pearson. Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el software R Studio, en su versión 4.1 de libre acceso.

Parámetros ambientales bajo condiciones de invernadero

Los registros de temperatura máxima en el día y durante la noche fueron constantes. La temperatura máxima registrada en el día fue de 40,8 °C, y en la noche, de 22 °C, con un rango de temperatura promedio de 15 °C (figura 1). La HR entre las 17:00

y las 20:00 horas alcanzó un máximo de 99 %, mientras que entre las 11:00 y las 13:00 horas se obtuvieron lecturas entre 24-60 % (figura 2). La luminosidad máxima se presentó entre las

11:00 y las 14:00 horas, con un valor de 3,11,6 LUX. En horas de la tarde los registros decayeron entre 27,4 y 196,2 LUX a causa de las lluvias torrenciales (figura 3).

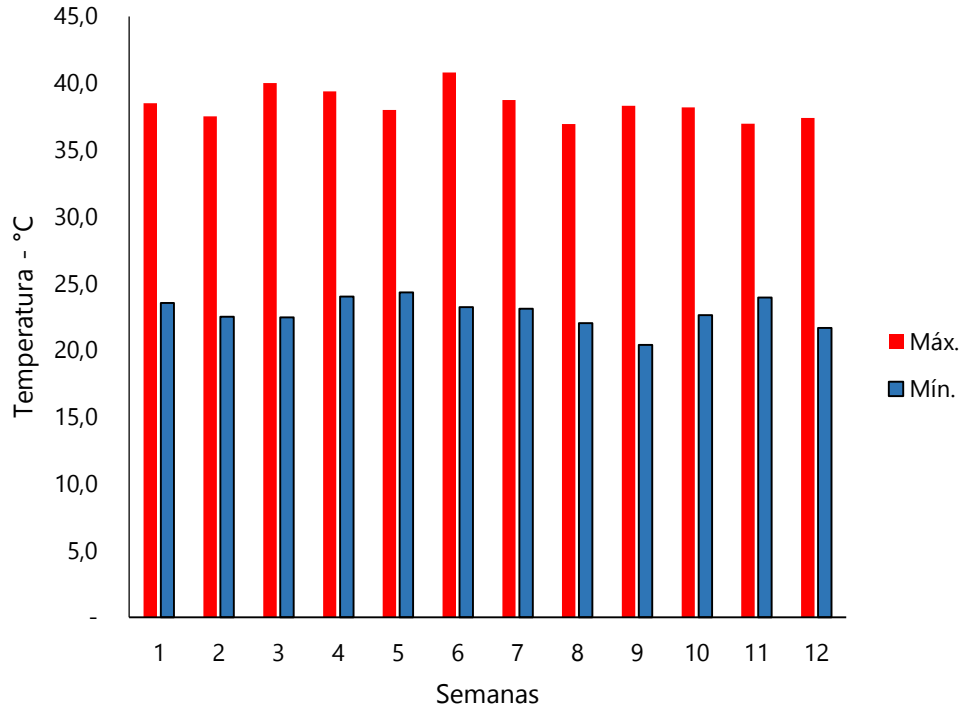


Figura 1. Registro de temperaturas bajo condiciones de invernadero en Palomino, La Guajira, durante todo el ciclo del cultivo de 10 genotipos de *C. sativa*.

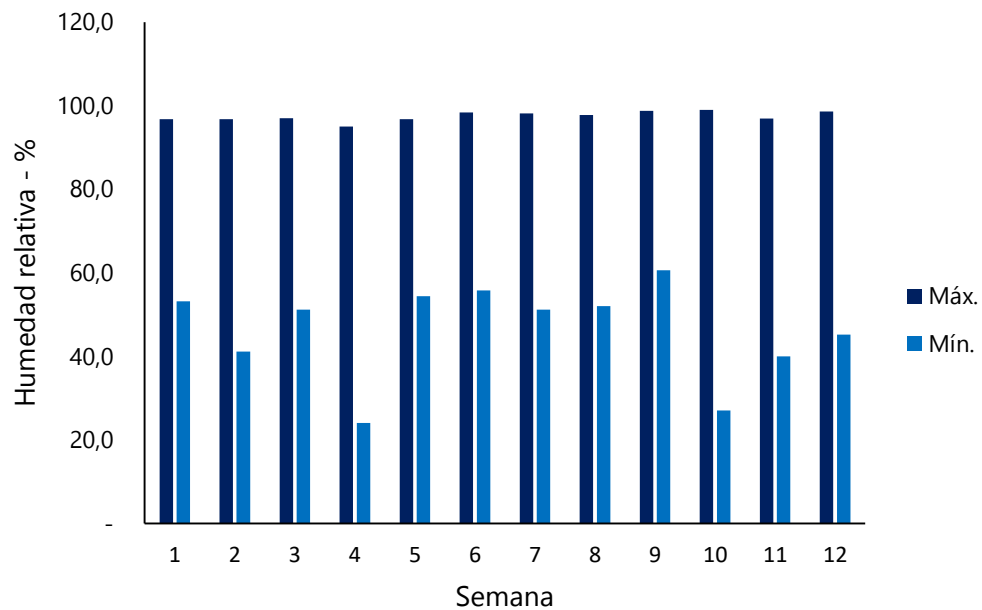


Figura 2. Registro de humedad relativa bajo condiciones de invernadero en Palomino, La Guajira, durante todo el ciclo del cultivo de 10 genotipos de *C. sativa*.

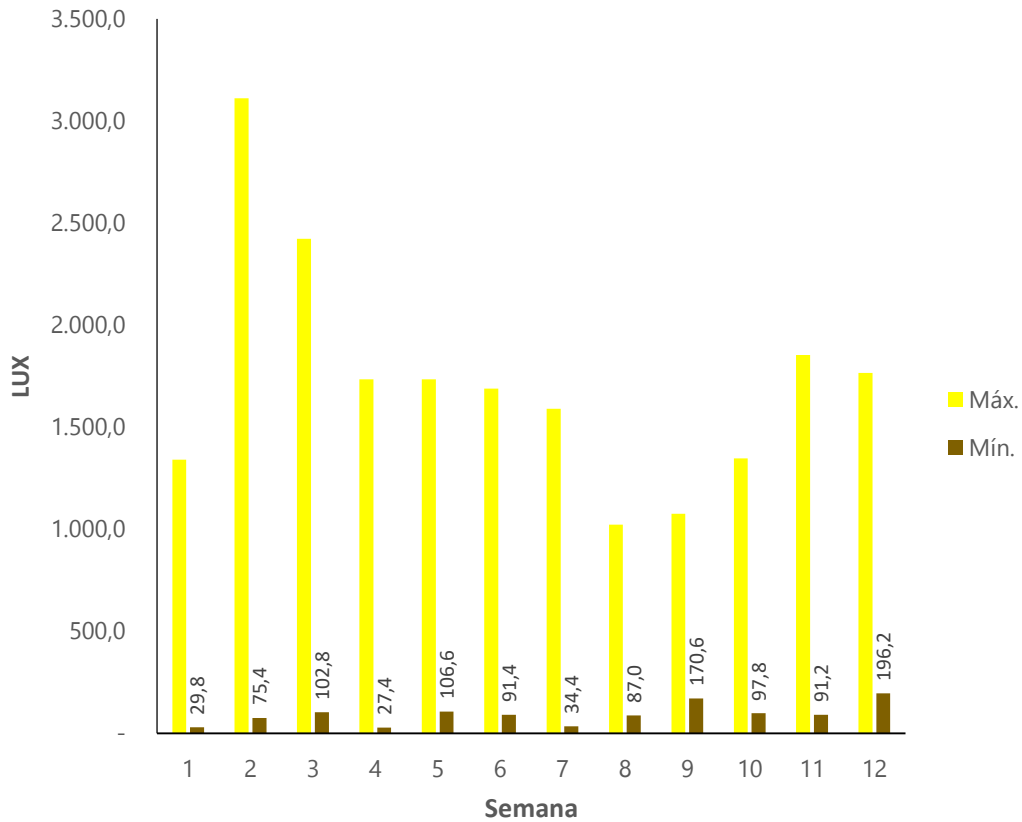


Figura 3. Registro de intensidad lumínica bajo condiciones de invernadero en Palomino, La Guajira, durante el ciclo del cultivo de 10 genotipos de *C. sativa*.

Altura de la planta

Se observó un incremento en la altura de los 10 genotipos de *Cannabis* desde la semana 2 después del trasplante (ddt). Luego, a partir de la semana 7 ddt, la velocidad de crecimiento tomó una gradual tendencia a ralentizarse (figura 4). Así pues, la ganancia de altura fue diferente entre las semanas (tabla 1); particularmente, en la 5 ddt y la 6 ddt se cuantificó la mayor ganancia, con un promedio de 3,47 cm y 3,10 cm respectivamente (tabla 2).

Los genotipos con mayor altura en la semana 5 ddt fueron PS108, PS57, PS11, PS111 y PS153, con ganancia de crecimiento por semana entre 4,26-3,36 cm. Por otra parte, en el momento de la cosecha en la semana 10 ddt, los genotipos con mayor altura fueron PS57, PS108 y PS11, cuyas alturas fluctuaron entre

171-148 cm. Los genotipos más bajos fueron PS60 y PS165, con 101,83 cm y 80,83 cm, respectivamente (tabla 2).

Número de brotes

El desarrollo de nuevas yemas de crecimiento sobre el tallo en los 10 genotipos de *Cannabis* se presentó a partir de la semana 5 ddt, posterior a la inducción floral, con un incremento significativo en el número de brotes (figura 5). En este caso también se registraron diferencias entre las semanas (tabla 1); en concreto, en la 6 ddt y la 7 ddt se contabilizó la mayor ganancia de brotes (tabla 2). En la semana 6 ddt los genotipos PS111, PS57 y PS97 arrojaron un rango de 6,53-5,11 brotes (tabla 2). Finalmente, en el momento de la cosecha, el genotipo PS111 tuvo la mayor cantidad de brotes con 153 unidades, y los genotipos con menor cantidad fueron PS108, PS42, PS60 y PS165, con un rango de 113 a 95 brotes en total (tabla 2).

Fenología de diez cultivares de *Cannabis sativa* l. bajo las condiciones ambientales

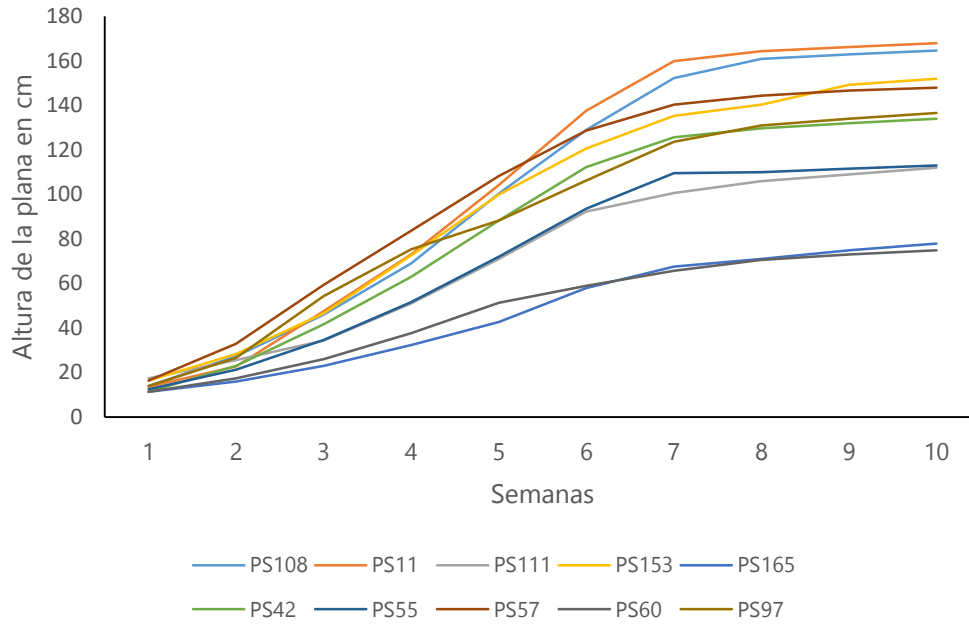


Figura 4. Altura de la planta a través del tiempo de 10 genotipos de *C. sativa* evaluados bajo condiciones de invernadero en el corregimiento de Palomino, La Guajira.

Tabla 1. Análisis de varianza para altura, brotes e inflorescencias de 10 genotipos de *C. sativa* durante 10 semanas, evaluados bajo condiciones de invernadero, en el corregimiento de Palomino, La Guajira. Niveles de significancia: **p<0,001; *p<0,05.

Diferencia entre semana para ganar altura, brotes e inflorescencia				
Fuente de variación	Grados de libertad	Ganancia	Brotes	Inflorescencia
Semana	9	Altura 169,2**	323,8**	980,6**
Error	590	1,87	3,1	3,2

Diferencia entre genotipos para la semana de mayor ganancia en altura, brotes e inflorescencia				
Fuente de variación	Grados de libertad	Semana de mayor ganancia		
		5	6	7
		Altura	Brotes	Inflorescencia
Genotipo	9	5,613**	4,479*	28,564
Error	50	1,303	1,63	0,913

Diferencia entre genotipos en el momento de la cosecha en la semana 10 para altura, brotes e inflorescencia				
Fuente de variación	Grados de libertad	Semana 10		
		Altura	Brotes	Inflorescencia
Genotipo	9	5,613**	1,571,1**	1,975,8**
Error	50	1,303	268,5	221,5

Diferencias entre genotipos para índice de cosecha (IC) y rendimiento (g)			
Fuente de variación	Grados de libertad	IC	Rendimiento
Genotipos	9	0,009	516,7**
Error	50	0,004	

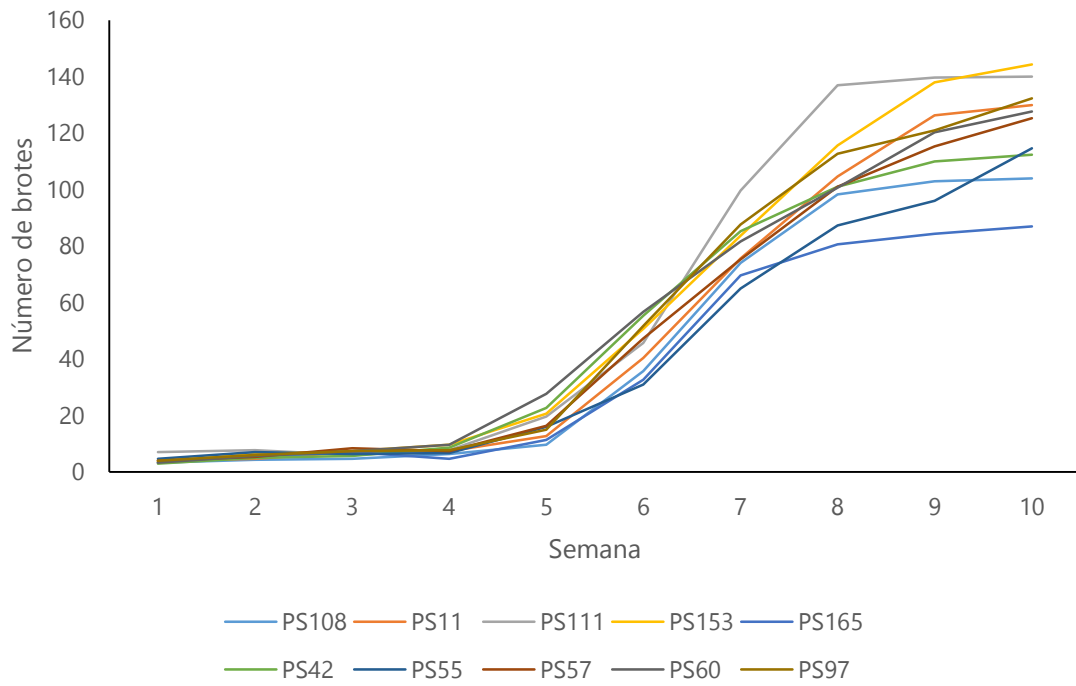


Figura 5. Desarrollo de brotes de 10 genotipos de *C. sativa* evaluados bajo condiciones de invernadero en el corregimiento de Palomino, La Guajira.

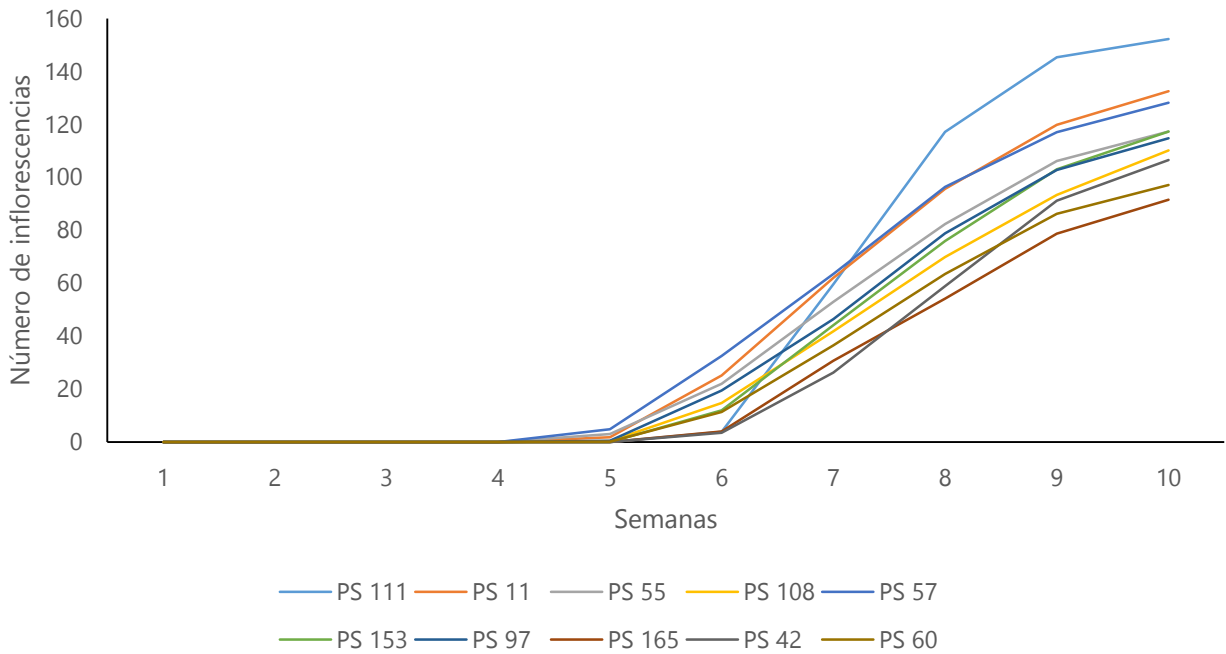


Figura 6. Número de inflorescencias de 10 genotipos de *C. sativa* evaluados bajo condiciones de invernadero en el corregimiento de Palomino, La Guajira.

Tabla 2. Test de comparaciones de medias de Duncan para las semanas de mayor ganancia de altura, brotes e inflorescencia entre genotipos, los mejores genotipos para la mejor semana de mayor ganancia y los mejores genotipos en el momento de la cosecha en la semana 10, evaluados bajo condiciones de invernadero en Palomino, La Guajira. Grupos de medias aritméticas con la misma letra no son significativamente diferentes a nivel de alfa 0,05.

Semana de mayor ganancia	Altura	Grupos	Semana de mayor ganancia	de Brotes	Grupos	Semana de mayor ganancia	de Inflorescencia	Grupos
5	3,47	A	6	45,78	A	7	50,55	A
6	3,10	AB	7	44,08	A	8	46,47	A
4	2,82	B	8	32,06	B	6	30,72	B
3	2,61	B	5	20,46	C	9	29,29	B
2	1,99	C	9	15,51	C	10	13,23	C
7	1,78	C	10	0,56	D	5	0,44	D
1	0,76	D	4	0,43	D	1	0,00	D
8	0,51	DE	2	0,24	D	2	0,00	D
9	0,44	DE	3	0,23	D	3	0,00	D
10	0,13	E	1	0,16	D	4	0,00	D

Genotipo	Semana 5, de mayor ganancia de altura	Grupos	Genotipo	Semana 6, de mayor ganancia de brotes	Grupos	Genotipo	Semana 7, de mayor ganancia de inflorescencia	Grupos
PS108	4,26	A	PS111	6,53	A	PS111	11,12	A
PS57	4,18	A	PS57	5,25	AB	PS11	5,14	B
PS11	3,93	AB	PS97	5,11	AB	PS55	4,95	BC
PS111	3,36	ABC	PS153	4,68	B	PS153	4,71	BC
PS153	3,36	ABC	PS108	4,42	B	PS57	4,49	BC
PS97	3,09	BCD	PS165	4,11	B	PS165	4,39	BC
PS42	3,08	BCD	PS60	4,05	B	PS97	4,05	BC
PS55	2,87	CD	PS11	4,03	B	PS42	3,97	BC
PS60	2,40	CD	PS42	3,9	B	PS60	3,92	BC
PS165	2,29	D	PS55	3,64	B	PS108	3,77	C

Genotipo	Semana 10: altura	Grupos	Genotipo	Semana 10: brotes	Grupos	Genotipo	Semana 10: inflorescencias	Grupos
PS57	171,66	A	PS111	153	A	PS111	152	A
PS108	162,5	A	PS11	132	B	PS11	130	B
PS11	148	AB	PS57	131	B	PS57	124	BC
PS111	136	BC	PS153	122	BC	PS55	115	BCD
PS153	133,83	BC	PS97	120	BC	PS153	115	BCD
PS97	127,5	BC	PS55	118	BC	PS97	112	BCDE
PS42	121	CD	PS108	113	BCD	PS108	106	CDEF
PS55	120,83	CD	PS42	111	BCD	PS42	104	DEF
PS60	101,83	DE	PS60	103	CD	PS60	94	EF
PS165	80,83	E	PS165	95	D	PS165	89	F

Número de inflorescencias

Entre las semanas 5 ddt y 6 ddt, la emisión de inflorescencias aumentó de forma notable (figura 6), presentándose diferencias significativas entre estos periodos evaluados (tabla 1). En las

semanas 7 ddt y 8 ddt se observó la mayor cantidad de flores, con 50,55 y 46,47 unidades emitidas respectivamente (tabla 2), y las diferencias entre los genotipos en la semana 7 ddt fue significativa (tabla 1).

El genotipo con la mejor emergencia floral fue PS111, con 11,12 unidades. En efecto, en el momento de la cosecha, en la semana 10 ddt, PS111 acumuló en promedio 152 botones florales. Por el contrario, los genotipos con la menor cantidad fueron PS108, PS42, PS60 y PS165, que produjeron entre 106 y 89 botones florales (tabla 2).

Índice de cosecha (IC)

El IC para los 10 genotipos fluctuó entre 30-43 % (figura 7). Sin

embargo, no se presentaron diferencias significativas entre las medias de estos genotipos debido a la variabilidad de los datos dentro y entre los genotipos. Por consiguiente, las medias comparadas de los genotipos de *C. sativa* obtuvieron un comportamiento similar.

Al relacionar el IC con el rendimiento, se observó una correlación de 0,75. Es decir, los genotipos con mayores IC tienen la capacidad de obtener un mejor rendimiento de flor seca (figura 8).

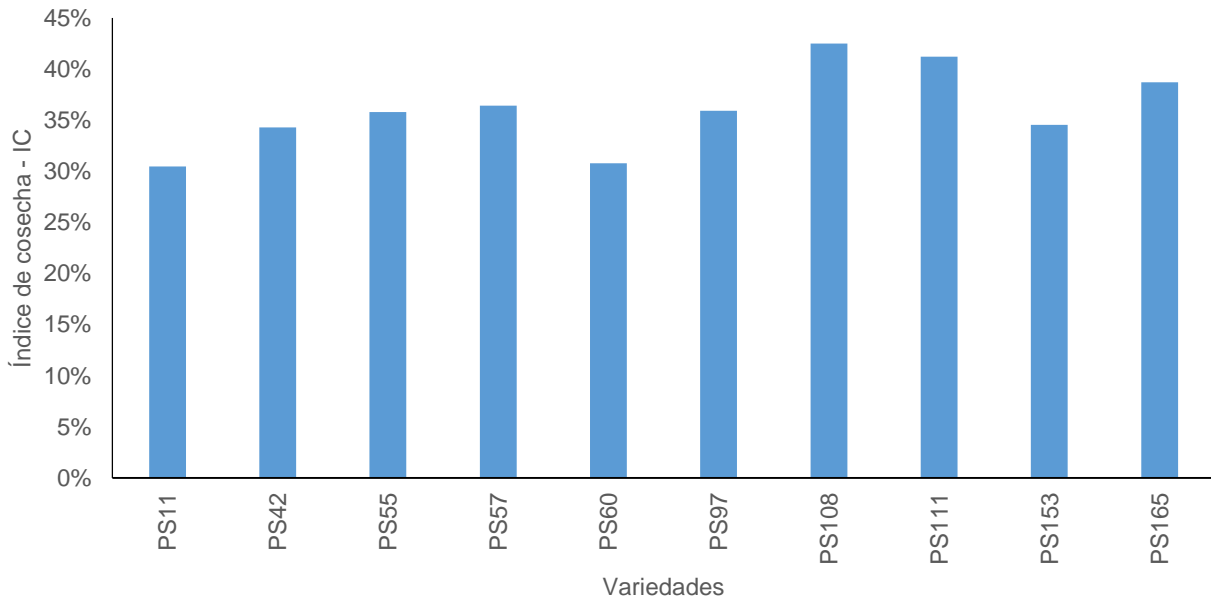


Figura 7. Índice de cosecha de 10 genotipos de *C. sativa* evaluados bajo condiciones de invernadero en el corregimiento de Palomino, La Guajira.

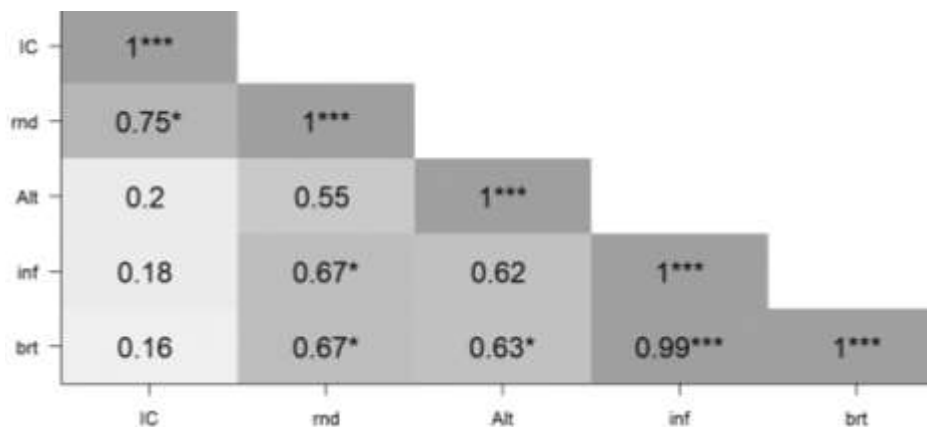


Figura 8. Matriz de correlación de Pearson entre altura (Alt), rendimiento (rnd), índice de cosecha (IC), inflorescencias (inf) y brotes (brt) para los 10 genotipos de *C. sativa* bajo las condiciones de invernadero en Palomino, La Guajira (nivel alfa del 0,05).

Rendimiento

Se presentaron diferencias estadísticas entre los rendimientos de flor seca entre los 10 genotipos de Cannabis (tabla 1). El rendimiento fluctuó entre 29,5-61 g de flor seca por planta, y los mejores registros en esta variable se presentaron en los genotipos PS111, con 61 g, PS108, con 55,2 g, y PS97, con 49,8 g de flor seca (figura 9).

El análisis de correlación entre las variables altura, rendimiento, IC, inflorescencias y brotes mostró una asociación positiva entre la cantidad de brotes vegetativos y la cantidad de inflorescencias emitidas. La altura de la planta a su vez reflejó una asociación positiva con los brotes y las inflorescencias, y así mismo se detectó asociación entre IC y rendimiento (figura 8). Por último, no se encontró correlación con la altura de la planta ni con la cantidad de brotes e inflorescencias.

Etapas de desarrollo fenológico

La formación de brotes laterales comienza en la etapa 2, de manera que los genotipos iniciaron la emergencia de nuevas yemas vegetativas al día 4 ddt, aunque el genotipo PS57 lo hizo a los 11 días ddt (tabla 3).

Por otro lado, el alargamiento del tallo, correspondiente a la etapa 3, comenzó a los 16 días después de la inducción floral, y los 10 genotipos obtuvieron un aumento en la altura del 30 %. La inducción floral se inició a los 30 días ddt, y las primeras inflorescencias se visualizaron entre los 36-41 días ddt. Los genotipos que generaron las primeras inflorescencias a los 36

días ddt fueron PS11, PS55, PS57 y PS97. Por el contrario, los genotipos PS111, PS108, PS153, PS165, PS42 y PS60 abrieron sus primeras inflorescencias entre los días 39-41 ddt.

Por otro lado, el alargamiento del tallo, correspondiente a la etapa 3, comenzó a los 16 días después de la inducción floral, y los 10 genotipos obtuvieron un aumento en la altura del 30 %. La inducción floral se inició a los 30 días ddt, y las primeras inflorescencias se visualizaron entre los 36-41 días ddt. Los genotipos que generaron las primeras inflorescencias a los 36 días ddt fueron PS11, PS55, PS57 y PS97. Por el contrario, los genotipos PS111, PS108, PS153, PS165, PS42 y PS60 abrieron sus primeras inflorescencias entre los días 39-41 ddt. Más adelante, al medir la altura de la planta en la fase de floración, el genotipo PS55 se destacó por su precocidad, pues alcanzó el 90 % de su longitud final a los 41 ddt. El resto de los genotipos, en cambio, alcanzaron el 90 % del crecimiento entre los 43 y 46 días ddt (tabla 3).

En la fase de floración se identificaron dos grupos, teniendo en cuenta que el inicio de esta etapa se determinó como el momento en que la población tuviera el 50 % de las inflorescencias abiertas. Por una parte, hubo un grupo de floración temprana entre los días 46 y 48 ddt, conformado por los genotipos PS11, PS55, PS57, PS97, PS153 y PS60 (semana 7 ddt). Por otra parte, el segundo grupo tuvo una floración tardía entre los 50-53 días ddt, constituido por los genotipos PS111, PS108, PS165 y PS42 (semana 8). La cosecha para todos los materiales fue realizada a los 70 días ddt (tabla 3).

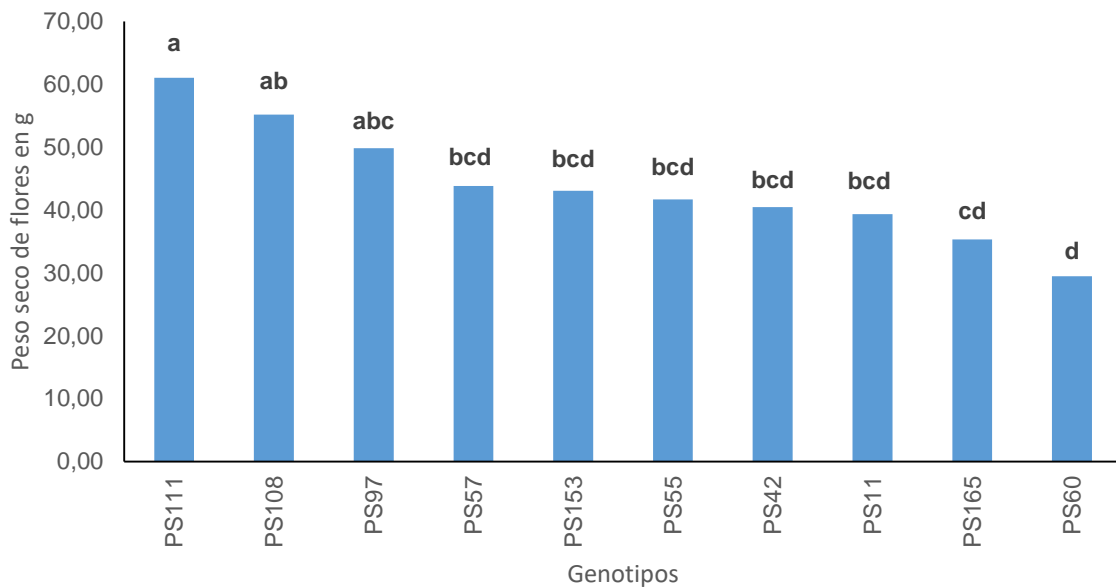


Figura 9. Test de Duncan para rendimiento de 10 genotipos de *Cannabis sativa* evaluados en invernadero. Grupos según probabilidad de diferencias de medias y nivel alfa (0,05).

Tabla 3. Etapas fenológicas de crecimiento y desarrollo de 10 genotipos de *Cannabis sativa* bajo las condiciones ambientales de Palomino, La Guajira, durante el periodo de julio a diciembre del año 2020 según la escala BBCH.

BBCH	Etapas de desarrollo	PS111	PS11	PS55	PS108	PS57	PS97	PS153	PS165	PS42	PS60
	N.º 2: formación de brotes laterales										
21	Primer brote lateral visible	4	4	4	6	11	6	6	6	6	6
25	Varios brotes laterales en la base de la hoja	6	11	6	13	13	11	11	13	11	8
	N.º 3: alargamiento del tallo										
31	Tallo 10 % de la longitud final	4	6	4	6	6	4	4	1	4	4
32	Tallo 20 % de la longitud final	11	13	11	13	13	11	13	11	13	13
33	Tallo 30 % de la longitud final	18	18	18	18	15	18	18	18	18	18
34	Tallo 40 % de la longitud final	22	22	22	22	20	22	22	22	20	20
35	Tallo 50 % de la longitud final	27	27	25	27	25	27	27	27	27	27
36	Tallo 60 % de la longitud final	29	32	29	32	29	29	29	32	29	29
37	Tallo 70 % de la longitud final	34	34	32	36	34	32	34	34	34	34
38	Tallo 80 % de la longitud final	39	39	39	39	36	39	39	39	39	39
39	Tallo 90 % de la longitud final	46	43	41	43	43	43	46	46	43	43
	N.º 6: floración										
59	Inducción floral	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
60	Se abren las primeras inflorescencias	39	36	36	39	36	36	39	41	41	39
62	20 % de inflorescencias abiertas	43	39	39	41	39	39	41	43	43	41
63	30 % de inflorescencias abiertas	46	41	41	43	41	43	43	46	48	43
64	40 % de inflorescencias abiertas	48	43	46	46	43	46	46	48	50	46
65	Plena floración: 50 % de las inflorescencias abiertas	50	46	48	50	46	48	48	50	53	48
67	Acabado de floración: 70 % de las inflorescencias abiertas	53	53	55	55	53	53	55	55	55	55
69	Fin de floración	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70

Discusión

Se describieron 19 etapas fenológicas para los 10 genotipos de *Cannabis sativa* L. de origen asexual, teniendo en cuenta los estados formación de brotes laterales, alargamiento del tallo y floración. La etapa vegetativa para los 10 genotipos bajo las condiciones de estudio fue similar dado que recibieron el mismo tratamiento de fotoperiodo hasta los 30 días ddt, cuando se inició la inducción floral. No obstante, cabe aclarar que la etapa vegetativa para el *Cannabis* puede variar según el fin del cultivo. Por ejemplo, en los cultivos de cáñamo, donde el manejo agronómico presenta variaciones en cuanto a densidades de siembra y fertilización, la etapa vegetativa puede alcanzar hasta las 8 semanas ddt (Tang *et al.*, 2016).

En las semanas 1 ddt y 2 ddt, la velocidad de crecimiento fue mínima, tal como suele ocurrir al comienzo de la etapa vegetativa, las fitohormonas como las auxinas, giberelinas y citoquininas son capaces regular el crecimiento de las plantas y sus procesos fisiológicos (Alcántara *et al.*, 2019). Luego, a partir de la semana 3 ddt, la velocidad de crecimiento aumenta significativamente como respuesta a la fertilización foliar y

edáfica, para estabilizarse más adelante a partir de la semana 5 ddt puesto que, al iniciar la fase de floración, la elongación del tallo tiende a ralentizarse gradualmente debido a la intervención de las fitohormonas (Collazos *et al.*, 2017). Como consecuencia de estos cambios, el desarrollo de nuevas hojas se inhibe para dar lugar al meristemo floral (Azcón y Talón, 2008).

Teniendo en cuenta que el *Cannabis* es una planta de día corto, la floración está inducida por un periodo de oscuridad, de entre 13 y 14 horas (Small, 2017). En la presente investigación, la inducción floral para los 10 genotipos probados se realizó a los 30 días ddt. Ahora bien, así como la respuesta a la formación de los primordios florales es propia de cada genotipo, igualmente ocurre con la apertura de las flores. De tal forma se identificó a PS111 dentro de los genotipos de floración tardía, mientras que PS108 y PS97 fueron más tempraneros. De cualquier modo, estos tres genotipos fueron los más rendidores. Asimismo, en los resultados de altura se observó que entre las semanas 5 y 6 de floración se dio la mayor ganancia, de forma que para esta misma fecha los 10 genotipos alcanzaron el 90 % de su longitud final.

La floración se presenta cuando la radiación solar es constante y no se ve ocultada por las nubes cargadas de agua, por lo cual la actividad fotosintética es constante. A su vez, el estrés hídrico es un factor que detiene el crecimiento, de manera que es clave controlar la cantidad de riego y la humedad del suelo para evitar la presencia de enfermedades. En ese orden de ideas, es posible medir la respuesta de los genotipos a la luz de ambos factores: la intensidad lumínica y el riego en los invernaderos climatizados (Rodríguez-Yzquierdo *et al.*, 2021; Stemeroff, 2017).

Caplan *et al.* (2019), por ejemplo, realizaron sequías controladas para maximizar tanto el peso seco de la inflorescencia como el rendimiento de cannabinoides. Así, los autores lograron aumentar las concentraciones de ácido tetrahidrocannabinólico (THCA) y de ácido cannabidiólico (CBDA) en un 12 % y un 13 %, respectivamente, en comparación con plantas con irrigación constante. Además, el rendimiento de THCA por unidad de área de cultivo fue un 43 % superior al control irrigado, así como el de CBDA, un 47 % más alto. Del mismo modo, el THC y el CBD tuvieron un mayor rendimiento en un 50 % y un 67 %, en ese orden.

Al finalizar el ciclo del cultivo, los genotipos PS108, PS57 y PS11 alcanzaron promedios de altura entre 148-172 cm, resultados que difieren de los reportados por Cosentino *et al.* (2012), quienes obtuvieron promedios de altura entre 74-226 cm para cuatro variedades de *C. sativa* en diferentes fechas de siembra. Sin embargo, para los cultivadores de la zona es preferible seleccionar genotipos que no superen los 180 cm de altura porque esto les facilita las labores de campo como las podas fitosanitarias, las fumigaciones, el monitoreo de plagas y la cosecha. Por ello, estos resultados son satisfactorios.

A partir de la semana 5 ddt, el incremento en la producción de brotes fue notoria. Así como Gaitán y Chivata (2022) reportaron entre 12 y 16 brotes en la semana 4 ddt, la presente investigación arrojó valores similares para la misma semana de crecimiento: de 9 a 12 brotes. En las semanas de mayor ganancia de brotes e inflorescencias (semanas 6 ddt y 7 ddt), el genotipo PS111 obtuvo el mejor comportamiento. Igualmente, al finalizar su ciclo fenológico (semana 10), este genotipo se destacó por tener el mejor promedio de brotes e inflorescencias. Sin embargo, es preciso advertir que estos resultados pudieron ser sesgados por las labores de campo realizadas durante la ejecución de este proyecto. Por ejemplo, durante las 10 semanas se ejecutaron tres podas fitosanitarias dirigidas al tercio inferior de la planta con el fin de mejorar el flujo de aire entre las plantas. Por lo tanto, el conteo de brotes e inflorescencias pudo haber tenido cierto margen de error.

En cuanto al rendimiento de flor seca y el IC en el cultivo de *Cannabis*, no es posible contrastar los resultados con otros estudios debido a que en la actualidad no existen investigaciones que contemplen estas variables. No obstante, conviene anotar que el IC presentó una correlación positiva con el rendimiento debido a que gran parte de la biomasa total de la planta se aloja en las inflorescencias. Al respecto, es pertinente recordar que el IC indica la cantidad de materia acumulada en el órgano de interés con respecto a la biomasa total de la planta (Escalante y Kohashi, 2015).

En contraste, al comparar el IC con el número de brotes e inflorescencias, la correlación es baja. Esto pudo ser influenciado por las condiciones ambientales en la zona de estudio y el microclima presente en el invernadero, con cambios bruscos de temperatura y humedad, alcanzando durante el día picos mayores a 30 °C y HR 78 % y, en la noche, de 20 °C y HR 98 %. Así se produjo una alta incidencia de *Botrytis cinerea*, lo que implicó realizar la cosecha antes de lo pronosticado. Por ello, se hace necesario estudiar a fondo las variaciones microclimáticas dentro del invernadero para lograr un control adecuado de estas variables (Arellano *et al.*, 2006).

Cabe resaltar que en el momento de examinar los tricomas bajo lupa se observó una maduración adecuada para iniciar la cosecha. Esta maduración temprana pudo ser influida por el estrés biótico causado por el patógeno *B. cinerea*, que puede interferir en el crecimiento, la senescencia y la abscisión de los órganos afectados (Azcón y Talón, 2008). De hecho, al analizar los promedios de temperatura y HR durante el ciclo del cultivo, se observa que los resultados no fueron muy fluctuantes entre las semanas; por ello, el estrés biótico causado por *Botrytis* es la hipótesis más acertada en cuanto a la maduración temprana de los tricomas.

En definitiva, comprender la relación que existe entre las plantas y el ambiente representa una herramienta cultural que posibilita mejorar el desarrollo del cultivo y, por ende, la productividad (De Castro *et al.*, 2018). Otro factor determinante que influyó la presencia de *B. cinerea* es el sistema de recirculación de aire dentro del invernadero, el cual no cumplía a cabalidad con su función. En ese sentido, es clave tener presente que la temperatura tiene un efecto significativo sobre la tasa de desarrollo de dicho patógeno. Incluso, se ha comprobado que la temperatura óptima de desarrollo de *Botrytis* en las flores es de 20 °C en un periodo de incubación de 24 horas (Latorre *et al.*, 2002).

Conclusión

De 58 etapas fenológicas definidas para *Cannabis*, en un ciclo asexual solo se evalúan 19 porque no se incluyen el desarrollo de la hoja, el del fruto, la maduración de este y la senescencia. Además, con los datos recolectados de ganancia de altura, brotes e inflorescencias basta para predecir cuáles serán los genotipos de mayor rendimiento.

Así pues, se ha determinado que el rendimiento de flor seca está influenciado por la longitud de la planta y el número de brotes y de inflorescencias. Igualmente, el IC es un gran indicador para establecer el rendimiento de cada genotipo. El genotipo mejor adaptado a la zona de estudio fue PS111 por la altura, la cantidad de brotes vegetativos, las inflorescencias y el rendimiento.

Conflicto de intereses

Los autores manifiestan no presentar conflictos de intereses.

Contribución de los autores

David A. Candelario Guerrero: conceptualización, escritura y edición, desarrollo del diseño, metodológico, adquisición de la financiación.

Luis Eduardo Calabria Parodi: toma datos y escritura.

Catherine Pardey Rodriguez: supervisión, escritura, revisión y edición.

Jhon Jairo Vargas Sanchez: revisión y edición.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad del Magdalena por financiar el proyecto de pregrado. A la empresa Dream Green por dar espacio en sus instalaciones y permitir llevar a cabo la investigación. A los profesores Irma del Rosario Quintero Pertuz y Verónica Hoyos Castaño y a Cristian Rincón por su colaboración.

Referencias

Alcántara, J. S., Acero, J., Alcántara, J. D. y Sánchez, R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 17(32), 109-129. <https://doi.org/10.22490/24629448.3639>.

Amaducci, S., Colauzzi, M., Bellochi, G. y Venturi, G. (2007). Modelling post-emergent hemp phenology (*Cannabis sativa* L.): Theory and evaluation. *European Journal of agronomy*, 28(2), 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.006>.

Ángeles, G., Brindis, F., Cristians, S. y Ventura, R. (2014). *Cannabis sativa* L., una planta singular. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 45, 1-6.

Arellano, M., Valera, D., Urrestarazu, M., García, S., Sánchez, A. y Soria, J. (2006). Estudio del microclima en dos subtipos de invernaderos Almería. *Agricultura Técnica en México*, 32, 25-234.

Azcón, J. y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill.

Bernal, R., Robbert, S. y Celis, M. (2019). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

Bleiholder, H., Feller, C., Hess, M. y Meier, U. (1996). *Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas: Escala BBCH extendida*. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura (BBA).

Caplan, D., Dixon, M. y Zheng, Y. (2019). Increasing Inflorescence Dry Weight and Cannabinoid Content in Medical Cannabis Using Controlled Drought Stress. *HortScience Orts*, 54(5), 964-969. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13510-18>.

Casiano, M. y Paz, F. (2018). Patrones espectrales de la fenología del desarrollo vegetativo y reproductivo de árboles de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.). *Terra Latinoamericana*, 36(4), 393-409. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.417>.

Collazos, R., Vilca, N. y Rascón, J. (2017). Utilización de fitohormonas para la inducción floral del cultivo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) en el distrito de Santa Rosa, Rodríguez de Mendoza, región Amazonas (Perú). *Sustainable Agroproduction*, 1(1).

Cosentino, S., Testa, G., Scordia, D. y Copani, V. (2012). Sowing time and prediction of flowering of different hemp (*Cannabis sativa* L.) genotypes in southern Europe. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 20-33. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.11.017>.

De Castro, M., Oliveira, L. F. C., Wendland, A., Guimarães, C. M., Quintela, E. D., Barbosa, F. R., Carvalho, M. da C. S., Lobo, M. y Silveira, P. M. (2018). *Conhecendo a Fenologia do Feijoeiro e Seus Aspectos Fitotécnicos*. Embrapa.

- De Marco, R., Martins, R., Herter, F., Ribeiro, C. y Nava, G. (2021). Ciclo de desenvolvimiento da nogueira-pecã – Escala fenológica. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 20(4), 260-270. <https://doi.org/10.5965/223811712042021260>.
- Escalante, J. y Kohashi, J. (2015). *El rendimiento y crecimiento del frijol: manual para la toma de datos*. México. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Gaitán, J. y Chivata, D. (2022). Validación de un sustrato, la nutrición y el control de humedad en el cultivo de *Cannabis* sp. *Metroflor-agro*, 96, 40-41.
- Guzmán, D. y Uprimny, R. (2010). *Políticas de drogas y situación carcelaria en Colombia*. Wola.
- IDEAM y UNAL. (2020). *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Latorre, B., Rioja, M. y Lillo, C. (2002). Efecto de la temperatura en el desarrollo de la infección producida por *Botrytis cinerea* en flores y bayas de uvas de mesa. *Ciencia e Investigación Agraria*, 29(3), 145-151. <https://doi.org/10.7764/rcia.v29i3.407>.
- Lisson, S., Mendham, N. y Carberry, P. (2000). Development of a hemp (*Cannabis sativa* L.) simulation model 2. The flowering response of two hemp cultivars to photoperiod. *Revista Australiana de Agricultura Experimental*, 40(3), 413-417. <https://doi.org/10.1071/EA99059>.
- Martínez, A., Roldán, A. y Pascual, J. (2011). Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* under conventional and low input fertilization field condition in melon crops: Growth response and *Fusarium* wilt biocontrol. *Applied Soil Ecology*, 47(2), 98-105.
- Mediavilla, V., Jonquera, M., Schmid-Slembrouck, I. y Soldati, A. (1998). Decimal code for growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of The International Hemp Association*, 5(2), 68-74.
- Meier, U. (2018). *Etapas de desarrollo de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas*. Instituto Julius Kühn.
- Mishchenko, S., Mokher, Y., Laiko, I., Burbulis, N., Kyrychenko, H. y Dudukova, S. (2017). Phenological growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.): codification and description according to the BBCH scale. *Žemės ūkio Mokslai*, 24 (2), 31-36. <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v24i2.3496>.
- Missouri Botanical Garden. (2022). Tropicos.org. <http://www.tropicos.org>.
- Rodríguez-Yzquierdo, G.A., Patiño- Moscoso, M.A. y Betancourt-Vásquez, M. (2021). Caracterización fisiológica en plantas de Cannabis medicinal durante diferentes etapas fenológicas bajo estrés abiótico. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 823-840. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.44443>.
- Royal Botanic Gardens. (2022). Plants of the World Online. <https://powo.science.kew.org>.
- Russo, E., Jiang, H. E., Li, X., Sutton, A., Carboni, A., Bianco, F., Mandolino, G., Potter, D., Zhao, Y. X., Bera, S., Zhang, Y. B., Lü, E. G., Ferguson, D. K., Hueber, F., Zhao, L. C., Liu, C. J., Wang, Y. F. y Li, C. S. (2008). Phytochemical and genetic analyses of ancient Cannabis from Central Asia. *Journal of Experimental Botany*, 59(15), 4171-4182. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern260>.
- Small, E. (2017). *Cannabis a complete guide*. CRC Press.
- Stemeroff, J. (2017). Irrigation Management Strategies for Medical Cannabis in Controlled Environments [Tesis de maestría en Ciencia Ambiental, University of Guelph, School of Environmental Sciences]. <https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/handle/10214/12125>.
- Suárez, P., Reyes, G. y Quintero J. (2018). Cannabis: desde sus orígenes hasta la actualidad. *Revista de Historia de los Cuidadores Profesionales y de las Ciencias de la Salud*, 5, 19-29.
- Tang, K., Struik, P., Yin, X., Thouminot, M., Bjelková, M., Stramkale, V. y Amaducci, S. (2016). Comparing hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. *Industrial Crops and Products*, 87, 33-34. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.026>.
- Tchameni, S., Ngonkeu, E., Begoude, D., Nana, L., Fokom, R., Owona, A. D., Mbarga, J. B., Tchana, T., Tondje, P. R., Etoa, F. X. y Kuate, J. (2011). Effect of *Trichoderma asperellum* and arbuscular mycorrhizal fungi on cacao growth and resistance against black pod disease. *Crop Protection*, 30(10), 1321-1327. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.05.003>.
- Torres, R. (1995). *Agrometeorología*. Trillas S. A.