

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EFFECTO DE LA DOSIS DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE  
CAÑAMO (*CANNABIS SATIVA L.*)**

**POR**

**GUSTAVO ANTONIO VALDEZ CARRASCO**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE**  
**2024**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA DOSIS DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE  
CAÑAMO (*CANNABIS SATIVA L.*).**

**POR**

**GUSTAVO ANTONIO VALDEZ CARRASCO**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE  
2024**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Nelson Zapata SM.  
Ing. Agrónomo, Dr. Cs.

---

Guía

Profesor Asociado, María López B.  
Lic. Química, Dr.

---

Asesor

Profesor Asistente, Miguel Garriga C.  
Lic. Biología, Dr. Sc.

---

Asesor

Decano, Guillermo Wells M.  
Ing. Agrónomo, Mg. Sc.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS.**

	<b>Páginas</b>
Resumen	1
Summary	1
Introducción	2
Materiales y Métodos	4
Resultados y Discusión	9
Conclusiones	13
Bibliografía	13
Anexos	16

**INDICE DE FIGURAS Y TABLAS**

		<b>Página</b>
Figura 1	Diagrama de distribución de parcelas y dosis de siembra.	6
Figura 2	Diagrama de distribución de hileras	6
Figura 3	Diagrama de cosecha, mostrando eliminación del efecto borde y subdivisión de parcela	7
Figura 4	Sección transversal de tallo de cañamo	10
Tabla 1	Efecto de diferentes dosis de siembra sobre parámetros morfológicos del cañamo	9
Tabla 2	Efecto de diferentes dosis de siembra sobre el área de la sección transversal del tallo de cañamo	10
Tabla 3	Efecto de diferentes dosis de siembra sobre la producción de biomasa por planta de cañamo	11
Tabla 4	Efecto de diferentes dosis de siembra sobre la producción de biomasa por hectárea de plantas de cañamo	12
Anexo 1	Análisis de suelo del sitio experimental	16
Anexo 2	Composición de fertilizantes utilizados	17

## **EFFECTO DE LA DOSIS DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE CÁÑAMO (*CANNABIS SATIVA* L).**

### **EFFECT OF SEEDING RATE ON HEMP BIOMASS PRODUCTION (*CANNABIS SATIVA* L.)**

**Palabras clave:** Morfología, Densidad de plantas, Sección transversal del tallo, Rendimiento por hectárea.

#### **RESUMEN**

El cáñamo (*Cannabis sativa* L.) es una planta con múltiples usos, incluyendo aplicaciones medicinales, nutricionales y textiles. Este estudio se centró en evaluar el impacto de la dosis de siembra sobre el crecimiento vegetativo, la morfología y el rendimiento del cáñamo. Se realizó un experimento en condiciones de campo utilizando dosis de siembra de 50, 100 y 150 kg de semilla por hectárea para observar sus efectos en la biomasa del tallo y de la inflorescencia, así como para analizar la morfología del tallo, la sección transversal y el efecto en la corteza y el núcleo leñoso. Los resultados mostraron que una mayor dosis de siembra incrementa la biomasa total producida por hectárea, debido al mayor número de plantas por unidad de área, respecto a la morfología de la planta, no se vio afectada por el incremento de la dosis de siembra.

#### **SUMMARY**

Hemp (*Cannabis sativa* L.) is a plant with multiple uses, including medicinal, nutritional, and textile applications. This study focused on evaluating the impact of seeding rate on the vegetative growth, morphology, and yield of hemp. A field experiment was conducted using seeding rates of 50, 100, and 150 kg of seed per hectare to observe their effects on stem and inflorescence biomass, as well as to analyze stem morphology, cross-section, and the impact on the bark and woody core. The results showed that a higher seeding rate increases the total biomass produced per hectare due to the greater number of plants per unit area. However, the morphology of the plant was not affected by the increase in seeding rate.

## INTRODUCCION

El cáñamo (*Cannabis sativa* L.) es una planta anual de la familia Cannabaceae, cultivada y utilizada en China durante más de 10.000 años. Se utilizaba principalmente para textiles, alimentos, papel y medicina, siendo un cultivo vital en la antigua civilización china (Liu *et al.*, 2017).

El 13 de junio de 1545, el emperador Carlos V y el príncipe gobernador emitieron una orden que instaba a los virreyes y gobernadores de los territorios españoles en América, a fomentar la siembra y procesamiento de lino y cáñamo. Esta medida tenía como objetivo no solo asegurar un suministro constante de estas fibras, sino también enseñar a las comunidades indígenas técnicas de hilado y tejido, integrando estas prácticas en la economía colonial, siendo esta orden un antecedente al ingreso del cultivo al continente americano (*Recopilación de leyes de los reinos de las Indias*, 1841).

En Chile, el cultivo de cáñamo se remonta al siglo XVI. Un documento de 1833, "Sobre el cultivo y beneficio del lino y el cáñamo", destaca tres principales objetivos de su siembra: la producción de semillas de calidad, la obtención de fibras fuertes y duraderas, y la generación de fibras finas y suaves. Asimismo, se ofrecen recomendaciones sobre la densidad de siembra para alcanzar estos fines. Para maximizar la producción de semillas y obtener fibras resistentes, se sugiere dispersar adecuadamente la semilla para optimizar su acceso a los nutrientes del suelo; en cambio, para la obtención de fibras finas, se recomienda una siembra más densa (Solano, 1833).

Las fibras de cáñamo en la actualidad tienen una serie de usos a nivel industrial, además de los ya mencionados, como la producción de aislamiento, la industria automotriz reforzando paneles de puertas (Dhakal y Zhang, 2015) y la industria de la construcción con los bloques de concreto de cáñamo, que se presentan como una alternativa sustentable a los materiales de construcción tradicionales (Jami *et al.*, 2019).

El cáñamo se desarrolla mejor en suelos con pH entre 6,0 y 7,5, profundos, bien aireados, con buena retención de agua y ricos en nutrientes (Amaducci *et al.*, 2015). Es importante evitar suelos con salinidad, compactación o niveles extremos de

acidez o alcalinidad (Kostuik y Williams, 2019). Para el cultivo de cáñamo, se recomiendan suelos francos o franco arenosos con alta fertilidad para la producción de fibras y granos (Kostuik y Williams, 2019). Además, el cáñamo necesita suelos profundos y bien drenados, ya que no soporta el anegamiento (condiciones anaeróbicas) (Kostuik y Williams, 2019). Su raíz pivotante robusta es capaz de penetrar hasta 2 m en suelos arcillosos (Amaducci *et al.*, 2008), pero una capa de compactación superficial puede distorsionar el crecimiento de la raíz primaria en forma de L, perjudicando la absorción de nutrientes y agua (Desanlis *et al.*, 2013).

El cáñamo presenta ventajas clave frente a otros cultivos textiles como el lino y el algodón, destacando su bajo requerimiento de pesticidas, lo que reduce su impacto ambiental. Además, su eficiencia en la producción de fibra en determinadas condiciones lo hace más sostenible en el uso de tierra y recursos. Esto lo convierte en un cultivo prometedor para la producción textil, en línea con los esfuerzos por desarrollar sistemas agrícolas más sostenibles (Van der Werf *et al.*, 2008). De hecho, el cáñamo, cuando se siembra densamente, suele ser considerado un cultivo que no requiere pesticidas, ayudando además a suprimir las malezas gracias a su rápido crecimiento y cobertura del suelo (Desanlis *et al.*, 2013; Hall *et al.*, 2014).

Las plantas de cáñamo poseen ramas largas, con 1,2 m desde el centro, y una altura que varía desde 1,8 hasta 6 m, siendo el rango promedio de 2,4 a 3,7 m (Thomas y Elsohly, 2016). Puede producir potencialmente 25 t ha<sup>-1</sup> de materia seca aérea, 20 t ha<sup>-1</sup> de materia seca del tallo y 12 t ha<sup>-1</sup> de celulosa, dependiendo de la variedad y el manejo agronómico (Struik *et al.*, 2000). La densidad de plantación tiene un impacto directo en el diámetro de los tallos (Trey *et al.*, 2019) y sobre el largo de estos (Yazici, 2023). Las plantas que crecen a altas densidades generalmente desarrollan tallos más delgados y cortos que las que crecen a bajas densidades (Tang *et al.*, 2017; Yazici, 2023). Burczyk (2009) sugiere una densidad de siembra de 30 kg ha<sup>-1</sup> para optimizar la producción de biomasa.

El tallo de cáñamo presenta transversalmente dos secciones principales: i) corteza o fibra del liber (abarca epidermis, floema y cambium vascular) y ii) núcleo o Hurd (contiene xilema y médula). Las fibras contenidas en la corteza tienen un largo que va de 5 mm a 55 mm, con un diámetro de 0,02 a 0,04 mm, y las fibras del

núcleo tienen un largo de 0,2 a 0,6 mm con un diámetro de 0,01 a 0,03 mm (Vignon *et al.*, 1995). El diámetro del tallo es importante puesto que determina el rendimiento de fibra. Cuanto mayor es su diámetro, menor es la proporción de fibra proveniente de la corteza y mayor es su contenido de madera central o Hurd. En contraparte, tallos delgados poseerán más fibra de la corteza en relación con el contenido del Hurd (Riddle *et al.*, 2019).

Para la producción de fibra, el cáñamo necesita alrededor de 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno aplicado antes de la siembra, promoviendo un crecimiento adecuado sin afectar la calidad de la fibra (Tang *et al.*, 2017; Kostuik y Williams, 2019). Además, se aconseja aplicar 67 kg ha<sup>-1</sup> de P (fósforo) y 336 kg ha<sup>-1</sup> de K (potasio), siendo el P vital para el crecimiento inicial y el K para el desarrollo de la fibra (Kostuik y Williams, 2019).

La población de plantas para el cáñamo, en la producción convencional de grano, fibra y doble propósito, es de 75 a 140 plantas por m<sup>2</sup> (Kostuik y Williams, 2019). Otros autores señalan 90 a 150 plantas por m<sup>2</sup> (Tang *et al.*, 2017). El momento de cosecha tiene efecto sobre el rendimiento de biomasa, siendo el más adecuado la fase de plena floración, independientemente de la densidad de siembra (Burczyk *et al.*, 2009).

El cáñamo puede desarrollarse en condiciones hídricas limitantes, requiriendo entre 220 mm y 450 mm de agua (Gill *et al.*, 2023).

En base a lo antes expuesto, se plantea evaluar los efectos de la dosis de siembra en la producción y morfología del cáñamo, establecidos en condiciones de campo. Los resultados podrían proporcionar información novedosa para desarrollar estrategias óptimas para el manejo del cultivo.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Ubicación geográfica y características edafoclimáticas del sitio experimental**

El predio se ubica en la región del Biobío en la comuna de Los Ángeles, Chile, a 130 m sobre el nivel del mar, en el Km 2,7 ruta Q447 (37°26'17,6"S 72°11' 04,4"O) y pertenece a la empresa Agrofuturo. El suelo de la zona de estudio corresponde a la serie Arenales, posee una textura franco-arenosa, con suelos profundos

derivados de arenas volcánicas, la topografía es casi plana y el terreno es susceptible a la erosión eólica en periodos de secos, además, posee un excelente drenaje (Martínez, 2014).

La región del Biobío se caracteriza por ser una zona de transición climática, donde convergen un clima templado mediterráneo cálido y un clima templado húmedo o lluvioso (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2024). En Los Ángeles, el verano es caluroso, seco y con cielos despejados, el invierno se caracteriza por ser frío, húmedo y con cielos nublados, durante el año la temperatura varía entre 3 °C y 28 °C, ocasionalmente puede bajar a -2 °C o subir sobre 33 °C, las precipitaciones anuales son de alrededor de 794,5 mm (Weather Spark, 2024).

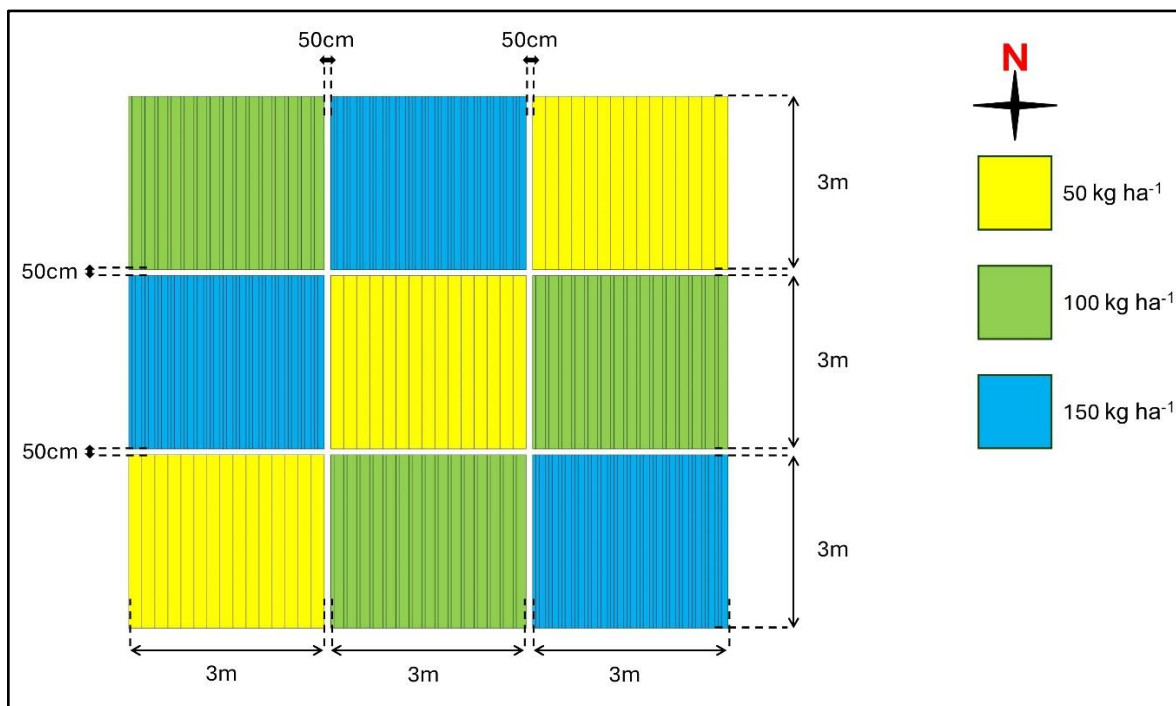
### **Material vegetal**

Para efectuar este estudio se utilizaron semillas de *Cannabis sativa* L. de la línea experimental NF06A. Este genotipo tiene un crecimiento medio de 3,5 m y un grosor medio del tallo de 5 cm. Al ser una línea experimental nueva no se tienen registros de su comportamiento en alta densidad. El peso de 1.000 semillas de NF06A es de 18 g y porcentaje de germinación es del 85%.

### **Establecimiento y manejo agronómico del experimento**

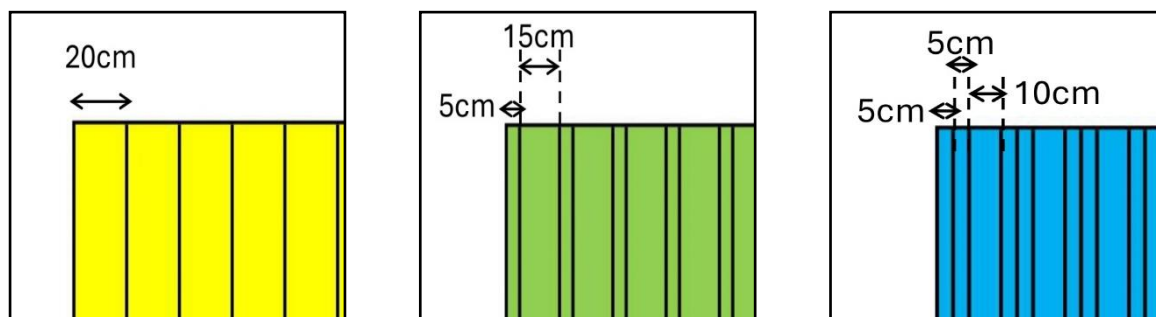
El suelo se preparó con un arado rotativo previo a la siembra. Se distribuyeron las semillas a 1 - 2 cm de profundidad utilizando una sembradora manual. La siembra se realizó el 14 de noviembre de 2022. Este experimento constó de 3 tratamientos para distintas dosis de siembra 50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>, cada dosis tuvo 3 repeticiones y cada parcela constó de una superficie de 9 m<sup>2</sup> (3 m x 3 m), con pasillos de 50 cm entre parcelas. Para el establecimiento del ensayo se utilizó un diseño de cuadrado latino (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de distribución de parcelas y dosis de siembra.



Para homogeneizar la densidad de siembra y obtener una mejor distribución se sembraron hileras a 20 cm, agregando una segunda y una tercera hilera a 5 cm para los otros dos tratamientos respectivamente y, de esta forma, duplicar y triplicar la densidad de plantas en base a las dosis de siembra (Figura 2).

Figura 2. Diagrama de distribución de hileras, amarillo dosis de siembra de 50 kg ha<sup>-1</sup>, verde dosis de siembra 100 kg ha<sup>-1</sup>, azul dosis de siembra 150 kg ha<sup>-1</sup>.



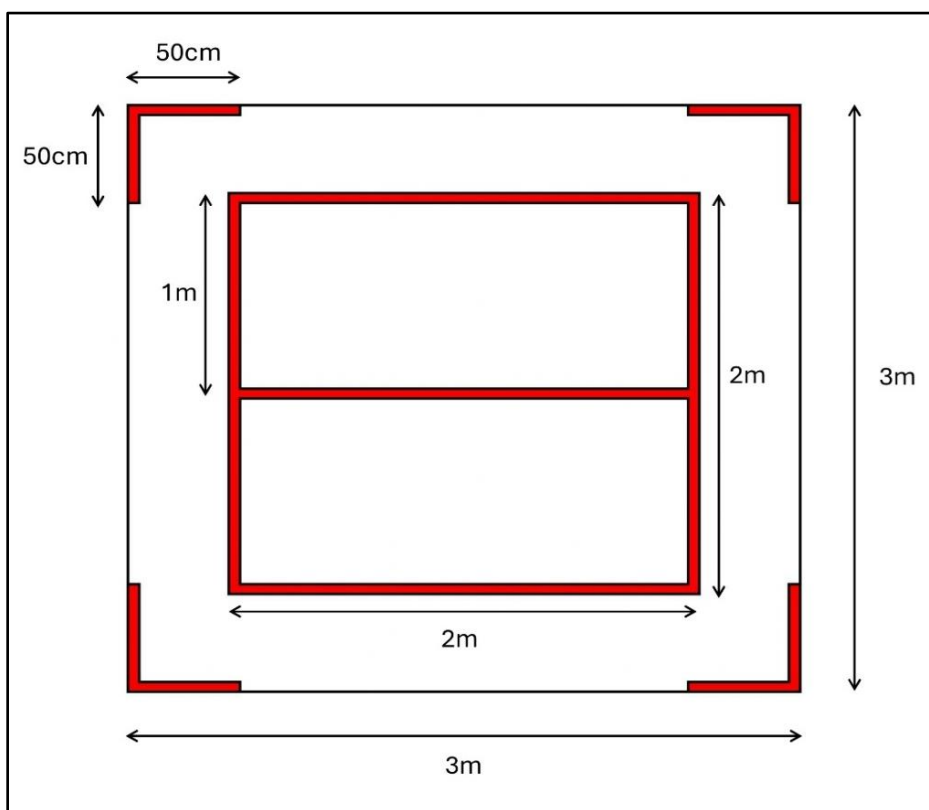
Previo a la siembra se realizó un análisis químico del suelo para ajustar la fertilización del experimento (Anexo 1). Para la fertilización se empleó 650 kg ha<sup>-1</sup>

de Guano rojo Pasche®, 250 kg ha<sup>-1</sup> de Harina de pescado Cultivers®, 250 kg ha<sup>-1</sup> de Algas Cibochem® y 250 kg ha<sup>-1</sup> de Harina de sangre Bioespacio® (Anexo 2). Los fertilizantes se parcializaron y se aplicaron previo a cada riego hasta el inicio de la floración. Los riegos se aplicaron por aspersion cada 3 días hasta inicios de floración, desde floración en adelante se cambió a riego por goteo con la misma frecuencia. El cultivo se mantuvo libre de malezas mediante control manual.

### Evaluaciones

La cosecha de las plantas se realizó cuando el 95% de la población alcanzó la floración, se eliminaron 50 cm en cada extremo de la parcela por ambos lados reduciendo el área de 9 m<sup>2</sup>, a 4 m<sup>2</sup>, dentro de los cuales se volvió a subdividir en 2 áreas de 2 m<sup>2</sup>, en la primera se contabilizaron las plantas a término de cosecha y de la segunda se cosechó el 10% (Figura 3).

Figura 3. Diagrama de cosecha, mostrando eliminación del efecto borde y subdivisión de parcela.



**Longitud de planta.** Se utilizó una cinta métrica para medir desde la base hasta la inserción de la primera y última inflorescencia, con el fin de determinar tanto la longitud total del tallo como la extensión ocupada por las inflorescencias, conocida como "porción floral". Se midió el 10% de las plantas contenidas en la superficie cosechable (2 m<sup>2</sup>) centrales de cada parcela o unidad experimental, las que fueron seleccionadas al azar.

**Diámetro medio de tallo.** Determinado con pie de metro posterior a la cosecha y a la mitad del largo total. Se considerarán 10% de plantas tomadas al azar y contenidas en la superficie cosechable (2m<sup>2</sup>) centrales de cada parcela o unidad experimental.

**Partición de biomasa seca por planta.** el 10% de las plantas contenidas en los 2 m<sup>2</sup> centrales de cada parcela fueron arrancadas, contadas y se separaron tallos e inflorescencias. El material vegetal fue secado en horno (Binder FD 115) a 50°C hasta alcanzar peso constante y luego pesado en balanza (Precisa Serie 520PT 4200C).

**Plantas por m<sup>2</sup>:** se contabilizó la cantidad de plantas a final de cosecha para conocer el número de individuos por m<sup>2</sup> producido con cada dosis de siembra.

**Rendimiento de biomasa total.** Con los datos obtenidos en las evaluaciones anteriores y considerando la superficie de cosecha se calculó la producción de inflorescencia y tallos por unidad de superficie (ha).

**Medición transversal de corteza y núcleo leñoso.** se determinó mediante el análisis en microscopio estereoscópico (Carl Zeiss Stemi 2000-C) para esto fue necesario preparar las muestras hidratándolas por una hora a 65°C en manto calefactor (Heidolph MR3001) para después cortar a mitad de tallo una sección transversal. Posteriormente, se tomó una fotografía digital con cámara (Carl Zeiss Axiocam ERC5S) y mediante el programa Zeiss Zen se realizó fotometría.

### **Análisis de Datos**

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de los datos, relacionando los parámetros evaluados y la dosis de siembra utilizada para cada tratamiento, las medidas fueron comparadas mediante prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de confianza del 95%. Cuando los datos no cumplieron los

supuestos del análisis de varianza se efectuó análisis no paramétrico utilizando la prueba de Kruskal-Wallis. Los análisis se realizaron en el software Statgraphics Centurion 19.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Morfología de la planta de cañamo

Los análisis realizados en las plantas a diferentes densidades de siembra no mostraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 1). Por lo que se establece que la dosis de siembra no tuvo efecto en la morfología de las plantas de cañamo; Se esperaba que estos resultados coincidieran con lo reportado por Yazici (2023), donde el aumento en el número de plantas por metro cuadrado redujo tanto la altura como el diámetro de las plantas.

Tabla 1. Efecto de diferentes dosis de siembra sobre parámetros morfológicos del cañamo.

Dosis de siembra (kg ha <sup>-1</sup> )	Diámetro medio del tallo (mm)	Largo del tallo (cm)	Largo inflorescencia (cm)	Largo total (cm)
50	7,02 ± 0,25 a	134,53 ± 6,55 a	24,88 ± 3,88 a	159,40 ± 10,42 a
100	6,34 ± 0,61 a	134,97 ± 12,80 a	23,89 ± 2,88 a	158,86 ± 14,33 a
150	6,24 ± 0,53 a	130,40 ± 5,05 a	25,42 ± 3,29 a	155,82 ± 8,09 a
Coefficiente de variación (%)	12,57	10,04	20,65	10,72

Datos expresados como promedio de tres repeticiones, letras iguales en la misma columna indica que no existe diferencia estadística significativa según prueba DMS para un nivel de confianza del 95%.

### Sección transversal del tallo de la planta de cañamo

Al igual que en el diámetro medio de los tallos (Tabla 1), no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las densidades de siembra en cuanto al área de la sección transversal, por lo que se determina que la dosis de siembra, no afecta a las áreas de las secciones transversales del tallo de cañamo (Tabla 2);

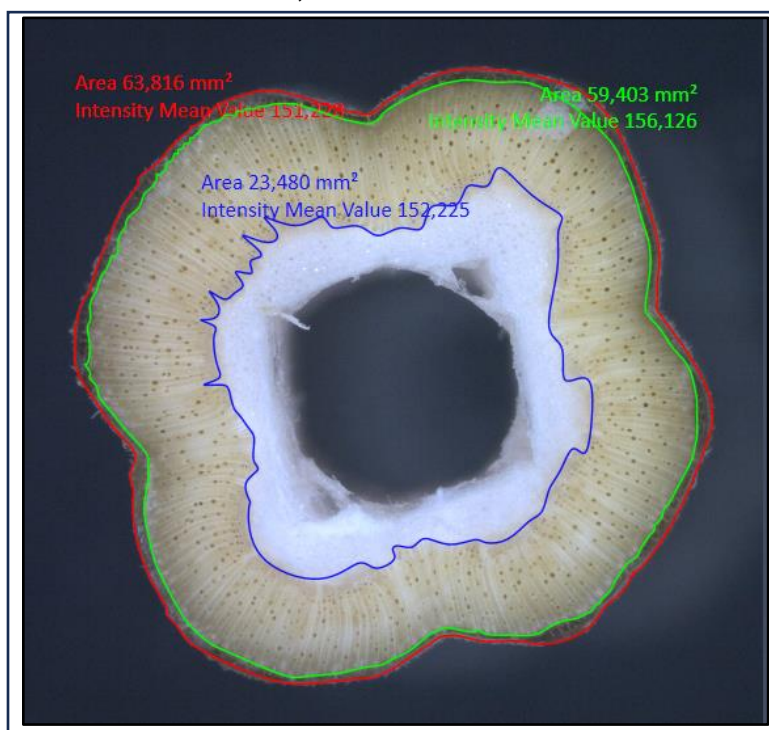
Estos resultados no coinciden con lo reportado por Schäfer y Honermeier (2006), quienes concluyeron que una mayor densidad de siembra provoca una reducción en casi todas las capas de la sección transversal del tallo.

Tabla 2. Efecto de diferentes dosis de siembra sobre el área de la sección transversal del tallo de cañamo.

Dosis de siembra (kg ha <sup>-1</sup> )	Área de corteza (mm <sup>2</sup> )*	Área núcleo leñoso (mm <sup>2</sup> )
50	3,48 ± 0,02 a	18,40 ± 1,27 a
100	3,00 ± 0,56 a	15,70 ± 2,58 a
150	2,91 ± 0,34 a	16,11 ± 2,57 a
Coeficiente de variación (%)		21,34

Datos expresados como promedio de tres repeticiones, letras iguales en la misma columna indica que no existe diferencia estadística significativa según prueba DMS para un nivel de confianza del 95%. \*Área de corteza, grupos determinados mediante análisis no paramétrico con la prueba de Kruskal-Wallis.

Figura 4. Sección transversal de tallo de cañamo cultivado bajo una dosis de siembra de 50 kg ha<sup>-1</sup> (0,054 mm px<sup>-1</sup>) (En color rojo el área total del corte, en color verde el área total sin la corteza, en color azul el área de la médula).



### Producción de biomasa por planta de cáñamo

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de producción de biomasa. Estos resultados difieren de lo reportado por Amaducci *et al.* (2002), quienes observaron una reducción en el peso individual de la planta conforme aumenta la densidad del cultivo.

Tabla 3. Efecto de diferentes dosis de siembra sobre la producción de biomasa por planta de cáñamo.

Dosis de siembra (kg·ha <sup>-1</sup> )	Peso seco inflorescencia (g)	Peso seco de tallo (g)	Peso seco combinado (g)
50	7,09 ± 1,21 a	11,09 ± 0,65 a	18,18 ± 1,55 a
100	6,27 ± 0,99 a	9,55 ± 2,18 a	15,82 ± 2,98 a
150	6,74 ± 1,75 a	8,91 ± 1,73 a	15,65 ± 3,37 a
Coeficiente de Variación (%)	30,81	26,98	25,96

Datos expresados como promedio de tres repeticiones, letras iguales en la misma columna indica que no existe diferencia estadística significativa según prueba DMS para un nivel de confianza del 95%.

### Producción de biomasa por hectárea de la planta de cáñamo

En la producción de biomasa por hectárea de plantas de cáñamo, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes dosis de siembra (Tabla 4). La biomasa, tanto de la porción floral como del tallo y total aumentaron al incrementar la densidad de siembra, alcanzando el máximo en la dosis de 150 kg de semilla por hectárea. Sin embargo, no se diferenciaron estadísticamente las dosis 100 kg kg ha<sup>-1</sup> y 150 kg kg ha<sup>-1</sup>, en ninguna de las variables. Por otro lado, la dosis de 50 kg ha<sup>-1</sup> presentó una producción significativamente más baja en comparación con el grupo de mayor densidad de siembra, pero no difiere estadísticamente del grupo intermedio de 100 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 4).

Tabla 4. Efecto de diferentes dosis de siembra sobre la producción de biomasa por hectárea de plantas de cáñamo.

Dosis de siembra (kg ha <sup>-1</sup> )	Biomasa inflorescencia (kg ha <sup>-1</sup> )	Biomasa de tallo (kg ha <sup>-1</sup> )*	Biomasa productiva total (kg·ha <sup>-1</sup> )	Plantas (m <sup>2</sup> )
50	2962 ± 683 a	4550 ± 457 a	7512 ± 1085 a	41 ± 5 a
100	5315 ± 475 ab	8126 ± 1750 ab	13441 ± 2106 b	87 ± 7 b
150	7228 ± 1112 b	9631 ± 119 b	16859 ± 1132 b	114 ± 18 b
Coefficiente de Variación (%)	42,70	37,01	37,17	45,18

Datos expresados como promedio de tres repeticiones, letras iguales en la misma columna indica que no existe diferencia estadística significativa según prueba DMS aplicando un nivel de confianza del 95%. \*Biomasa de tallo, grupos determinados mediante análisis no paramétrico con la prueba de Kruskal-Wallis.

Al analizar el rendimiento total del cultivo, se observa la misma tendencia, aumentando la biomasa por hectárea con el aumento de la dosis de siembra. La máxima producción de biomasa se alcanzó con 150 kg de semilla por hectárea, y aunque la producción a 100 kg ha<sup>-1</sup> es inferior, no presentó diferencias estadísticamente significativas respecto a la máxima. En cambio, al reducir la dosis a 50 kg ha<sup>-1</sup>, se registra una disminución estadísticamente significativa en comparación con los otros grupos (Tabla 4), lo cual es consistente con los hallazgos de Yazici (2023) que indican que un incremento en la densidad de plantación aumenta la biomasa producida.

El aumento de la dosis de siembra de 50 kg ha<sup>-1</sup> a 100 kg·ha<sup>-1</sup> tiene un impacto significativo en el aumento del número de plantas por m<sup>2</sup>. Sin embargo, incrementar de 100 kg ha<sup>-1</sup> a 150 kg ha<sup>-1</sup> no produce un cambio significativo en el número de plantas establecidas (Tabla 4), resultados similares a lo reportado por Van der Werf *et al.* (1995). Estos autores observaron que un aumento en la densidad del cultivo también incrementa la mortalidad de plantas debido al auto aclaramiento y la competencia por espacio, luz y recursos, demostrando que el número de plantas no aumenta proporcionalmente con la dosis de siembra.

## CONCLUSIONES

1. Incrementar la dosis de siembra aumenta la producción de biomasa por unidad de área en el cultivo de cáñamo, principalmente debido al mayor número de plantas por unidad de área, ya que estadísticamente no hay diferencias significativas en la morfología de las plantas.
2. Para futuros estudios, se sugiere incluir evaluaciones adicionales sobre la fecha de corte, las condiciones climáticas, la calidad de la fibra, el uso de diferentes cultivares y la fertilización. Estas variables podrían proporcionar una comprensión más detallada y completa del impacto de la dosis de siembra y la densidad en el cultivo del cáñamo para fines industriales.

## Bibliografía

1. Amaducci, S., Errani, M., & Venturi, G. (2002). Response of hemp to plant population and nitrogen fertilisation. *Italian journal of agronomy*, 6, 103-112.
2. Amaducci, S., Zatta, A., Raffanini, M., Venturi, G., 2008. Characterisation of hemp (*Cannabis sativa* L.) roots under different growing conditions. *Plant Soil* 313, 227–235.
3. Amaducci, S.; Scordia, D.; Liu, F.H.; Zhang, Q.; Guo, H.; Testa, G.; Cosentino, S.L. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Ind. Crops Prod.* 2015, 68, 2–16
4. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2024). Clima de la Región del Biobío. Recuperado el 15 de julio de 2024, de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8/clima.htm>.
5. Burczyk, H., Grabowska, L., Strybe, M., & Konczewicz, W. (2009). Effect of Sowing Density and Date of Harvest on Yields of Industrial Hemp. *Journal of Natural Fibers*, 6(2), 204–218.
6. Desanlis, F., Cerruti, N., Warner, P., 2013. Hemp agronomics and cultivation. In: Bouloc, P. (Ed.), *Hemp Industrial Production and Uses*. CABI, Wollingford, UK, pp. 98–124
7. Dhakal, H. N., & Zhang, Z. (2015). The use of hemp fibres as reinforcements in composites. *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, 86–103.
8. Gill, A. R., Loveys, B. R., Cavagnaro, T. R., & Burton, R. A. (2023). The potential of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) as an emerging drought resistant fibre crop. *Plant & Soil*, 493(1/2), 7–16.

9. Hall, J., Bhattarai, S. P., & Midmore, D. J. (2014). Effect of industrial hemp (*Cannabis sativa* L) planting density on weed suppression, crop growth, physiological responses, and fibre yield in the subtropics. *Renewable Bioresources*, 2(1).
10. Jami, T., Karade, S. R., & Singh, L. P. (2019). A review of the properties of hemp concrete for green building applications. *Journal of Cleaner Production*, 239, 3-11.
11. Jeff, K., & D.W, W. (2019). Hemp Agronomy-Grain and Fiber Production. ASA, CSSA, and SSSA Books, 58–72.
12. Liu, F. H., Hu, H. R., Du, G. H., Deng, G., & Yang, Y. (2017). Ethnobotanical research on origin, cultivation, distribution and utilization of hemp (*Cannabis sativa* L.) in China.
13. Martínez Tapia, R. (2004). Mapa de reconocimiento de suelos de la VIII Región del Bío-Bío (Sector Sur). Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/101729>.
14. Recopilación de leyes de los reinos de las Indias, Título 18, Libro 4, Capítulo 20. (1841).
15. Schäfer, T., & Honermeier, B. (2006). Effect of sowing date and plant density on the cell morphology of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, 23(1), 88-98.
16. Solano Pérez, F. (1833). Memoria sobre el cultivo y beneficio del lino y el cáñamo en Chile. Patrimonio cultural común. Biblioteca Nacional de Chile. Recuperado de <https://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/visor/BND:10337>
17. Statgraphics Centurion (Versión 19,0). (2024). Statgraphics Technologies, Inc. Recuperado de <https://www.statgraphics.com/>.
18. 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. *Industrial Crops and Products*, 11(2-3), 107–118.
19. Tang, K., Struik, P. C., Yin, X., Calzolari, D., Musio, S., Thouminot, C., Bjelková, M., Stramkale, V., Magagnini, G., & Amaducci, S. (2017). A comprehensive study of planting density and nitrogen fertilization effect on dual-purpose hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation. *Industrial Crops and Products*, 107, 427-438.
20. Thomas, B. F., & ElSohly, M. A. (2016). The Botany of *Cannabis sativa* L. The Analytical Chemistry of Cannabis, 1–26.
21. Trey, R., Jared, N., & Patrick, F. (2019). Hemp Fibers. ASA, CSSA, and SSSA Books, 37–56.

22. Van der Werf, H.M.G., & Turunen, L. (2008). The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn. *Industrial Crops and Products*, 27(1), 1-10.
23. Van der Werf, H. M. G., Wijnhuizen, M., & de Schutter, J. A. A. (1995). Plant density and self-thinning affect yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Field Crops Research*, 40(3), 153-164.
24. Vignon, M. R., Garcia-Jaldon, C., & Dupeyre, D. (1995). Steam explosion of woody hemp chènevotte. *International Journal of Biological Macromolecules*, 17(6), 395–404.
25. Weather Spark. (2024). Clima promedio en Los Ángeles, Chile durante todo el año. Recuperado el 15 de julio de 2024. Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/y/25134/Clima-promedio-en-Los-%C3%81ngeles-Chile-durante-todo-el-a%C3%B1o> .
26. Yazici, L. (2023). Optimizing plant density for fiber and seed production in industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of King Saud University - Science*, 35(1), 102419.
27. Zeiss ZEN (Versión 3.8) (2023) . ZEN Microscopy Software. Recuperado de <https://www.zeiss.com/microscopy/>

## ANEXOS

### Anexo 1. Análisis de suelo del sitio experimental.

Determinación	Unidad		Nivel de suficiencia
pH (en agua)		7,2	6,0 - 7,0
Materia Orgánica	%	5,8	2,0 - 8,0
Conductividad eléctrica	dS/m	0,34	<1,0
<b>Macronutrientes</b>			
Nitrato N-N03	mg/kg	59	>10
Amonio N-NH4	mg/kg	29	>10
Fosforo disponible	mg/kg	15	20
Potasio disponible	mg/kg	207	115 - 175
Potasio intercambiable	cmol/kg	0,53	0,30 - 0,45
Calcio intercambiable	cmol/kg	8,52	4,0 - 8,0
Magnesio intercambiable	cmol/kg	1,18	0,6 - 1,5
Azufre disponible	mg/kg	12	16 - 30
<b>Micronutrientes</b>			
Hierro	mg/kg	68,2	>2,5
Manganeso	mg/kg	4,9	>3,0
Cinc	mg/kg	1,7	>1,0
Cobre	mg/kg	2,3	>0,5
Boro	mg/kg	4,6	0,6 - 1,5
<b>Otros</b>			
Sodio intercambiable	cmol/kg	0,21	<1,0
Aluminio intercambiable	cmol/kg	0,01	<0,15
<b>Relaciones y saturación</b>			
Suma de Bases	cmol/kg	10,4	5,0 - 10
CICE	cmol/kg	10,5	>5,0
Saturación de aluminio	%	0,1	<2,0
Saturación de potasio	%	5,1	5 - 10
Saturación de calcio	%	81,5	65 - 75
Saturación de Magnesio	%	11,3	10 - 15
Relación Calcio/Magnesio		7,2	4 - 6
Relación Potasio/Magnesio		0,4	0,3 - 0,6

## Anexo 2: Composición de fertilizantes utilizados.

Productos / Composición	Guano Rojo	Harina de pescado	Algas	Harina de Huesos
Materia Orgánica (%)	13	71	48,5	n.d
Aminoácidos Totales (dS m <sup>-1</sup> )	n.d	n.d	8,6	n.d
Ácido Algínico (%)	n.d	n.d	12	n.d
Manitol (%)	n.d	n.d	3	n.d
Ácidos Fúlvicos (%)	n.d	9,5	n	n.d
Nitrógeno Total (%)	1	9,5	0,6	n.d
Cenizas (%)	n.d	n.d	n.d	70
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%)	11	8	0,5 - 2,0	14
Potasio (K <sub>2</sub> O) (%)	1	11,6	18	n.d
Calcio (CaO) (%)	20	9,8	n.d	2
Magnesio (MgO) (%)	2,5	0,3	n.d	n.d
Zinc (Zn) (%)	50	n.d	n.d	n.d
Boro (B) (%)	30	n.d	n.d	n.d
Manganeso (Mn) (%)	150	n.d	n.d	n.d
Azufre (%)	5	n.d	n.d	n.d
Solubilidad en agua (%)	94	97	100	95
pH	7,2	3,5	10	7,5

n.d.= No se detecta el compuesto.

Fuente: Cultivers®, Pasche®, Cibochem® y Bioespacio® 2022.