

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Influencia de la Densidad de Siembra sobre el Comportamiento Productivo de la
Cebada ALICIAN221 en el Valle de Navidad, Nuevo León, México

Por:

JUAN MANUEL MELGOZA VÉLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Influencia de la Densidad de Siembra Sobre el Comportamiento Productivo de la Cebada ALICIAN221 en el Valle de Navidad, Nuevo León, México

Por:

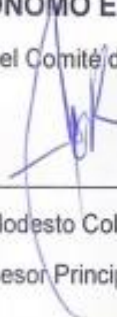
JUAN MANUEL MELGOZA VÉLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



M.C. Modesto Colín Rico

Asesor Principal



Dra. María Alejandra Torres Tapia

Coasesor



Dr. José Luis Velasco López

Coasesor



Dr. Jerónimo Canteros Flores

Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2023

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (cortar y pegar); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprobar o pedir prestados los datos a la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original



Juan Manuel Melgoza Vélez

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, quiero agradecer a **Dios** por permitirme vivir y cumplir una meta, un logro que con mucho esfuerzo dedicación y valores para llegar a ser una buena persona, por ayudarme a tener la fuerza, sabiduría, entendimiento, paciencia para poder afrontar todos los problemas que se me han presentado, pero sobre todo estar bien de salud y mi familia GRACIAS.

A mis amigos que me acompañaron durante toda la carrera y brindarme su apoyo, por su amistad por todos los buenos momentos que pasamos que son como una familia gracias, gracias por todo, Roberto Jiménez Lugo, Luis Enrique Martínez Pérez, Juan Pablo Alcocer Espinoza, Lizbeth Antonio Martínez, Michelangelo Bortolotti Ríos, Héctor Rodrigo Gil Hernández, Antonio Bortolotti Ríos, Manuel López Silva, Benigno Cervantes, Luis Antonio Vargas Ferto.

A la **Dra. María Alejandra Torres Tapia** por toda la ayuda brindada durante el proyecto en el are del laboratorio

Al **M.C. Modesto Colín Rico** por la oportunidad de formar parte de este proyecto, la confianza, por toda su atención, tiempo dedicado, paciencia y orientación para que se pudiera realizar este proyecto.

Al **Dr. Víctor Manuel Zamora Villa †** por su ayuda en este proyecto en lo estadístico, gracias por su tiempo brindado, un gran maestro, siempre alegre con gran sentido del humor, D.E.P.

A mi gloriosa “**Alma Terra Mater**” la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por haberme dado la oportunidad de formar parte de ella durante este tiempo, por los compañeros y por los amigos que hice en la carrera que con el paso del tiempo se convierten en tu familia, agradezco a todos y cada uno de mis profesores por todas sus enseñanzas y conocimientos transmitidos.

Gracias a la Sra. **Delma Mireya flores** por abrirme las puertas de su casa, por toda su ayuda y apoyo que me ha brindado desde el principio y durante mi carrera ser como una madre para mí, muchas gracias por todo.

DEDICATORIAS

Con todo mi amor cariño y admiración a mis madres **Felicitas Cruz Revimar** y **Catalina Vélez Cruz** quiero darles infinitas gracias por todo su apoyo que siempre me han brindado en la vida, por todos los consejos y cada palabra de aliento para seguir adelante en los momentos más difíciles, por todo su sacrificio para poder concluir esta etapa por los valores inculcados y guiarme por buen camino me siento muy contento, feliz y agradecido con DIOS por tenerlas conmigo “GRACIAS”.

A mi padre **Juan Melgoza Rodríguez** por todos sus consejos para seguir adelante a no darme por vencido

A mi hermano **Julio Cesar Melgoza Vélez** por siempre apoyarme en todo momento y confiar en mí y ser un ejemplo para mí, ser un gran amigo y compañero en muchas aventuras y viajes.

A toda mi familia tíos, tías, primos y primas por todo su apoyo, cariño y afecto que siempre me han brindado y durante la trayectoria de mi carrera también son una parte de este éxito los quiero, muchas gracias a todos y cada uno de ustedes.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Origen	4
Producción mundial.....	5
Producción nacional.....	6
Importancia económica	7
Requerimientos climáticos y edáficos	7
Morfología de la planta.....	8
Clasificación Taxonómica	9
Densidad de siembra	9
Método de siembra y distancia entre filas o hileras	11
Uso de sensores infrarrojos	13
Temperatura del dosel	14
Correlaciones de variables agronómicas	14
MATERIALES Y MÉTODOS	16
Localización y descripción del experimento	16
Preparación del terreno y siembra	16
Fertilización	16

Riegos.....	17
Muestreos	17
Diseño experimental	17
Variables evaluadas.....	18
Altura de planta (ALT)	18
Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI).....	18
Temperatura del dosel (TEMP).....	18
Forraje verde (FV).....	18
Forraje seco (FS)	19
Etapa fenológica (ETAPA)	19
Tallos por metro cuadrado (TM ²)	19
Longitud de espiga (LE)	19
Granos por espiga (GE)	20
Rendimiento de grano (RG)	20
Peso de 1000 semillas (PMS)	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
Primer muestreo.....	21
Segundo muestreo.....	25
Tercer muestreo.....	29
Análisis de varianza combinados a través de los tres muestreos	33
Características o variables comunes en ensayos de grano o semilla	38
Correlaciones entre variables	42
CONCLUSIONES.....	46
LITERATURA CITADA.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para las distintas variables estudiadas en el primer muestreo, Navidad, Nuevo León.	22
Cuadro 4.2. Resultados de la prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) para las diferentes variables estudiadas en el primer muestreo, Navidad, Nuevo León.	24
Cuadro 4.3 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para las distintas variables estudiadas en el segundo muestreo, Navidad, Nuevo León.	25
Cuadro 4.4 Resultados de la prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) para las diferentes variables estudiadas en el segundo muestreo, Navidad, Nuevo León.	28
Cuadro 4.5 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para las distintas variables estudiadas en el tercer muestreo, Navidad, Nuevo León.	29
Cuadro 4.6 Resultados de la prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) para las diferentes variables estudiadas en el tercer muestreo, Navidad, Nuevo León.	32
Cuadro 4.7 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza combinados a través de muestreos para las diferentes variables, Navidad, Nuevo León.	34

Cuadro 4.8 Resultados de las pruebas de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) combinadas a través de muestreos, Navidad, Nuevo León.....	37
Cuadro 4.9 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para las variables de grano, Navidad, Nuevo León.....	38
Cuadro 4.10 Resultados de la prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) para las variables de grano, Navidad, Nuevo León...	41
Cuadro 4.11 Correlaciones entre las diferentes variables para el primer muestreo, Navidad, Nuevo León.....	42
Cuadro 4.12 Correlaciones entre las diferentes variables para el segundo muestreo, Navidad, Nuevo León.....	43
Cuadro 4.13 Correlaciones del tercer muestreo y las variables de rendimiento de grano o semilla, Navidad, Nuevo. León.....	45

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la UAAAN ubicado en el ejido Navidad, municipio de Galeana, Nuevo León, México durante el ciclo otoño–invierno 2020-2021, se utilizaron doce densidades de siembra que van en asenso cada 10 Kg desde los 60 a 170 Kg ha⁻¹, con el propósito de determinar la influencia de la densidad de siembra sobre el rendimiento de forraje y otras variables de valor agronómico de la variedad de cebada ALICIAN 221, se utilizó el diseño de bloques completo al azar con tres repeticiones por tratamiento en tres muestreos durante el ciclo del cultivo (75, 90 y 104 días después de la siembra), se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (DMS) y análisis de correlación. Las variables estudiadas fueron: altura de planta (ALT), índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), temperatura de dosel (TEMP), forraje verde (FV), forraje seco (FS), etapa fenológica (ETAPA), tallos por metro cuadrado (TM²), longitud de espiga (LE), granos por espiga (GE), rendimiento de grano (RG) y peso de mil semillas (PMS). Los resultados obtenidos mostraron diferencias entre densidades de siembra, las cuales se encontraron diferencias estadísticas en el primer muestreo para altura ALT, FV y ETAPA. Para el segundo muestreo se observó diferencias en, ALT, FS y ETAPA, y en el tercer muestreo solo se observaron diferencias en ETAPA, GE y PMS. De forma conjunta se observaron diferencias en ALT, FV, FS y ETAPA. La densidad de siembra no influyó significativamente en la expresión del NDVI y la TEMP. Aunque con algunas excepciones, el comportamiento de la variedad ALICIAN 221, se vio influenciado mayormente por las densidades de siembra entre 130 y 160 Kg ha⁻¹. Altura de planta resulto ser la característica que más influye en el comportamiento productivo de ALICIAN 221, dada la consistente significancia de su correlación con rendimiento de forraje verde, forraje seco y de grano. Es conveniente continuar investigando sobre este tema en condiciones edafoclimáticas diferentes a las de este estudio para corroborar los resultados y ofrecer recomendaciones confiables.

Palabras clave: cebada ALICIAN 221, densidad de siembra, forraje invernal

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la cebada es mayormente utilizada para la alimentación de ganado vacuno debido a sus propiedades nutritivas. Por esta razón, el área de cultivo de la cebada forrajera ocupa casi dos tercios del total sembrado a nivel mundial. Los cereales de invierno se han constituido en cultivos imprescindibles en cualquier sistema de producción de pastoreo de carne o leche, lo que debe analizarse es cómo ajustar las variables de manejo del cultivo para lograr aumentar en forma marcada la producción de forraje para disminuir los costos de cada ración que se le provee al animal diariamente.

Las cebadas forrajeras se cultivan principalmente en Norte América y Europa, las formas en que se consume la cebada en la alimentación pecuaria son: mediante el pastoreo, en forraje para henificado o ensilado, uso del grano en dietas de engorda o mediante el uso de la paja como complemento alimenticio (Foster y Prentice, 1987; Blake *et al.*, 2011).

Los cereales de grano pequeño, como se le conoce a la avena, cebada, trigo, triticale y centeno, son cultivos muy aceptados y utilizados para producir forraje por varias razones, entre las que destacan las siguientes; tienen un buen potencial de producción de forraje, y son más eficientes en el uso del agua que otros cultivos como el maíz y el sorgo (Brouwer y Heibloem, 1986; Enciso *et al.*, 2004).

La calidad nutritiva de forraje de los cereales de grano pequeño es alta cuando se cosechan en una etapa óptima, por lo que se puede utilizar en cualquier etapa fisiológica del ganado; son versátiles en el uso porque se pueden henificar, ensilar y pastorear, lo que da al productor flexibilidad en el manejo de su explotación; se pueden producir todo el año ya que hay variedades de primavera e invierno y algunos de ellos, como el centeno, tienen una excelente tolerancia al frío; el ciclo de producción es corto por lo que se pueden integrar en patrones de producción de más de un cultivo al año, ya que se pueden sembrar en verano e invierno y se pueden utilizar como fuente de forraje de emergencia (Oplinger *et al.*, 1997).

En este sentido, como las densidades óptimas de siembra varían en gran medida entre áreas, condiciones climáticas, suelo, fecha de siembra y las variedades difieren genéticamente para los componentes de rendimiento, éstas deben evaluarse en diversos rangos de densidades de siembra y ambientes y así determinar el manejo agronómico más adecuado para una región específica (Wiersma, 2002).

La cebada es uno de los cultivos más importantes para una agricultura de conservación y adaptación al cambio climático, ya que se ajusta bien a condiciones marginales de humedad, suelo y es tolerable a la sequía. Entre usos más importantes están la alimentación animal mediante forraje o grano, alimentación humano y extracción de malta para la elaboración de cerveza (Sun y Gong, 2010; Schulze, 2014). La cebada de primavera y la avena son opciones típicas de forraje anual para muchos productores de carne y leche.

En el área de influencia inmediata de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), se ubica la cuenca lechera más importante de México y durante los meses más fríos (diciembre, enero y febrero) el abasto de forraje es muy difícil de lograr; por ello; en el programa de cereales de nuestra Universidad ha desarrollado nuevas variedades de cebada con el propósito de obtener forraje rápido y de calidad durante el referido periodo, aprovechando algunas de las ventajas de la especie que ya se ha mencionado, así pues, se tiene la necesidad de integrar el paquete tecnológico que permita la mejor explotación de dichas variedades, siendo uno de los aspectos fundamentales la determinación de la densidad de siembra óptima para hacer más eficiente la variedad y reducir costos. Por lo anterior se planteó el presente estudio, bajo los siguientes objetivos e hipótesis.

Objetivo general

- Estudiar la influencia de la densidad de siembra sobre el rendimiento de forraje y otras características de la planta y grano con valor agronómico de la variedad de cebada ALICIAN 221 en el sur de Nuevo León, México.

Objetivos específicos

- Conocer el efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de forraje verde y seco, así como de grano o semilla de la variedad ALICIAN 221.
- Conocer la influencia de la densidad de siembra sobre la expresión de la planta con el uso de tecnología infrarroja de la variedad ALICIAN 221.
- Identificar la densidad de siembra más conveniente para producir mayor rendimiento de forraje y otras variables agronómicas con propósito de recomendación a los productores del valle de Navidad, N.L.
- Mediante el análisis de correlación dilucidar que variables o características de planta presentan asociación con el rendimiento de forraje y grano o semilla de la variedad ALICIAN 221.

Hipótesis

- Cuanto mayor sea la densidad de siembra, mayor será el rendimiento de forraje y grano o semilla de la variedad ALICIAN 221 en el valle de Navidad, Nuevo León.
- La densidad de siembra influye fuertemente en la expresión de las diferentes características de planta de la variedad ALICIAN 221.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen

La cebada (*Hordeum vulgare L.*) es uno de los cultivos fundadores de la agricultura del viejo mundo. Varios sitios con restos arqueológicos de granos de cebada fueron encontrados en la región del Creciente Fértil, Mesopotamia, indicando que el cultivo fue domesticado alrededor del año 8000 A.C. La cebada probablemente es el grano cultivado más antiguo, tiene una larga historia de desarrollo combinado con su difusión con más de un centro de origen o de diversidad, teniendo un amplio desarrollo dentro de una gama ecológica de extraordinaria, desde el círculo polar ártico en Finlandia, en la India tropical a una altura de 500 m.s.n.m. y hasta en los Andes ecuatorianos por encima de 3000 m.s.n.m. (Zohary & Hopf, 1993).

El centro de origen de *ssp. spontaneum* es el sudeste asiático, particularmente en el Medio Oriente. La distribución natural incluye el Este del Mediterráneo (Grecia Oriental y Turquía), el área de Cyrenaica de Libia y Egipto. Este taxón se extiende hacia el Este hasta Afganistán, Turkmenistán y Pakistán Occidental (Giles & Bothmer, 1985; Zohary & Hopf, 1993). En estudios realizados por Molina-Cano *et al.* (1999), se sugiere que la domesticación de la cebada ocurrió también fuera del área del Creciente Fértil, particularmente en Marruecos.

Producción mundial

Dentro de los cereales de importancia económica mundial, la cebada ocupa el primer lugar de los cereales secundarios, siendo los principales países productores de cebada en el mundo son la Federación Rusa, Alemania, Francia, Ucrania, Austria, Canadá y España. En todo el mundo se producen 141 276 744 toneladas de cebada al año. La Federación Rusa tiene una producción de 16 991 907 ton, con una superficie sembrada de 7 873 944 ha, y rendimientos de 2.2 t ha⁻¹. El segundo país es Alemania cuenta con una producción de 9 583 600 ton, con una superficie sembrada de 1 622 000 ha y rendimientos de 5.9 ton/ha.

En tercer lugar, se encuentra Francia con una producción de 11 193 034 ton, una superficie sembrada de 1 767 518 ha y rendimientos de 6.3 t ha⁻¹. Siendo este el país de mejor rendimiento a nivel mundial. A partir de estos datos podemos evidenciar que la Unión Europea es la región con mayor producción de esta gramínea a nivel mundial y mejores rendimientos (FAO, 2020).

Se prevé que la demanda total de otros cereales secundarios aumentará 30 Mt para 2029 y que la demanda de forraje representará alrededor de la mitad de dicho aumento (+14 Mt), seguido por el uso alimentario (+10 Mt) y el uso industrial (+6 Mt). Se espera que la demanda de forraje continúe siendo relevante en Europa, y se espera que la cebada se mantenga como un importante ingrediente.

En lo que respecta a la producción de lácteos, se espera que la cebada se mantenga como un importante ingrediente del forraje. A nivel mundial, la intensificación esperada de los sistemas de producción de lácteos y carne favorece el uso de forraje industrial cuyos principales ingredientes son el maíz y la soya; esto desacelerará el crecimiento de la demanda de forraje para otros cereales secundarios. Se espera que China incremente la demanda de forraje, impulsada por el sector de la carne, de manera similar a África del Norte, Irán, Turquía y Arabia

Saudita. En los últimos tres países, a pesar de la intensificación de sus sistemas de producción, se espera que la cebada se mantenga como un forraje de alta calidad, en particular para los rumiantes, como camellos, ovejas y cabras. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029.

Producción nacional

En México, la cebada es uno de los cultivos más importantes en la región de los Valles Altos que comprende los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México (SIAP, 2015). En esta región la producción de cebada se destina principalmente para la industria maltera, mientras que los residuos derivados (paja y granos que no cumplen los requerimientos mínimos de calidad) se utilizan como complemento alimenticio en las dietas de ganado bovino, ovino o caprino (Reyes *et al.*, 2013). La agricultura y la ganadería son actividades comunes en el medio rural de los Valles Altos del país.

Sin embargo, la escasez de insumos forrajeros es un serio problema que enfrenta la mayoría de los productores ganaderos. La causa más común es la ausencia de especies forrajeras adaptadas a las distintas regiones agrícolas.

En México y en particular en la Región Lagunera el uso de cebada para producción de forraje es poco usual, a pesar de las bondades que representa. La causa más común es la ausencia de variedades diseñadas para la producción de forraje, y el desconocimiento de su valor nutritivo al momento de cosechar.

Importancia económica

La cebada maltera es de gran importancia socioeconómica en México. Representa el ingreso principal de las familias que habitan las zonas productoras de los Valles Altos de la meseta central del país. También es importante como materia prima para la industria cervecera, forrajera y en menor proporción como alimento humano (Zamora, 2008).

En el país la producción agrícola de cebada se distribuye en primer lugar en el estado de Hidalgo, el cual aporta 125 mil hectáreas para la siembra de este cultivo, seguido por el estado de Guanajuato con 45 mil hectáreas. Sin embargo, el rendimiento de este cultivo no mantiene una proporción igual, ya que tan sólo el estado de Guanajuato obtiene un rendimiento de 5.36 t ha⁻¹ mientras que el estado de Hidalgo sólo obtiene en producción un rendimiento de 1.30 t ha⁻¹, este fenómeno se presenta principalmente por el número de hectáreas siniestradas que merman la productividad (SIAP, 2020).

Requerimientos climáticos y edáficos

La cebada se adapta a regiones templadas, pero también se cultiva en regiones subtropicales con invierno definido; el rango de altitud en el que produce la cebada es de 0 a 3,000 msnm (Aragón, citado por Ruiz *et al.*, 1999). El rango de temperatura en el que se cultiva es de 2 a 40 °C y su óptimo es de 15 a 20 °C. Su tolerancia al frío, es mayor que la de avena, pero menor que la del triticale, trigo y centeno. Los mejores suelos para cultivar la cebada son los de textura franca con fertilidad moderada, aunque también se cultiva en suelos de textura arenosa a arcillosa, pero con buen drenaje. El pH óptimo de suelo para su desarrollo es de 6.5 a 7.5 y de los cereales es el más tolerante a la salinidad, hasta 10 dS/m. Otra característica favorable de esta especie es su alta tolerancia a la sequía (TAREC 2011a; FAO, 2004b).

Morfología de la planta

Hojas

Las hojas de la planta de cebada son estrechas y color verde claro. Y en los primeros estadios de su desarrollo la planta de cebada suele ser menos erguida que la planta de trigo

Raíces

El sistema radicular es fasciculado, fibroso y alcanza poca profundidad en comparación con el de otros cereales. Se estima que un 60% del peso de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm del suelo y que las raíces apenas alcanzan 1.20 m. de profundidad.

Tallo

El tallo es erecto, grueso, formado por unos seis u ocho entrenudos, los cuales son más anchos en la parte central que en los extremos junto a los nudos. La altura de los tallos depende de las variedades y oscila desde 50 cm. a un metro.

Flores

Las flores son hermafroditas, tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas. Su sistema de polinización es autógama. Las flores abren después de haberse realizado la fecundación, lo que tiene importancia para la conservación de los caracteres de una variedad determinada.

Fruto

El fruto es en cariósipide, con las glumillas adheridas, salvo en el caso de la cebada desnuda.

Grano

El tamaño del grano depende de la influencia del ambiente y sus dimensiones varían como sigue: puede alcanzar una longitud máxima de 9.5 mm y una mínima de 6.0 mm; de ancho mide entre 1 .5 y 4.0 mm.

Clasificación Taxonómica

La clasificación completa de la cebada, *Hordeum vulgare* L., según Stein *et al.* (2013) es como se describe a continuación:

Reino: Plantae - Plantas

Subreino: Tracheobionta – Plantas vasculares

Superdivisión: Spermatophyta – Plantas con semilla

División: Magnoliophyta – Plantas que florecen

Clase: Liliopsida - Monocotiledoneas

Subclase: Commelinidae

Orden: Cyperales

Familia: Poaceae – Familia de las gramíneas

Género: *Hordeum* – Cebada

Especie: *vulgare* L. – Cebada común

Nombre Científico: *Hordeum vulgare* L.

Nombre Común: Cebada

Densidad de siembra

La densidad de siembra es una de las decisiones más complejas para los agricultores porque implica calcular la cantidad de semilla que se va a comprar. Por esta razón, es necesario identificar la densidad de siembra óptima lograr la cantidad de plantas permita su pleno desarrollo y consecuentemente, un alto rendimiento.

En este sentido, la densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que determina el potencial del cultivo de interceptar recursos, pudiendo llegar a afectar de manera importante la captura y utilización de radiación, agua y nutrientes. Su elección busca aumentar el rendimiento y la calidad de los granos. Esta debe garantizar coberturas vegetales uniformes y elevadas desde etapas tempranas y especialmente durante el período crítico para la definición del rendimiento, 30 días antes y 10 días después de antesis, por lo que se debe determinar la densidad de siembra del cultivo en función de las condiciones agroecológicas de cada lugar (Kruk y Satorre, 2003).

La densidad de siembra en el caso de obtención de cebada para la producción de grano se recomienda de 90 a 120 Kg por hectárea. La cantidad de semilla que se suele emplear es muy variable, sin embargo, es frecuente que la cantidad empleada para la siembra oscile entre 120 y 160 Kg ha⁻¹. (Martínez, 2006).

Darapuneni *et al.* (2016) también encontraron que las distintas densidades de siembra no influyeron en el rendimiento de forraje seco, recomendando incluso densidades entre bajas a medias sin comprometer el potencial de rendimiento de materia seca.

Naveed *et al.* (2014) en su estudio, el aumento en la densidad de siembra fue proporcional al rendimiento de grano, obteniendo el máximo rendimiento utilizando la densidad de siembra más alta.

Todas las variedades de cebada forrajera deben ser sembradas a más de 180 plantas/m². El número de semillas por Kg ha⁻¹ variará dependiendo de la variedad y la temporada en la que se produjo la semilla. Siendo también con posible variación de una temporada a otra. Por ejemplo, en zonas secas se deben usar dosis más bajas cuando la humedad del suelo es limitada en el momento de la siembra. En estas zonas, las altas tasas de siembra tienden a disminuir el tamaño del grano y aumentar los cribados en cebada.

En otros cereales como trigo, cuando crecen a bajas densidades de plantas aumenta el área verde por planta y la duración de la formación de macollos y el rendimiento no es afectado por la disminución de la densidad (Whaley *et al.*, 2000).

La investigación realizada por el equipo de agronomía de cebada de DAFWA (Department of Agriculture and Food, Western Australia) encontró que aumentar la tasa de semillas de cebada disminuye significativamente la calidad de los cultivos de cebada en zonas con precipitaciones de media a altas. La tasa de siembra objetivo en kilogramos por hectárea difiere entre variedades debido al peso de grano y la respuesta al aumento de la densidad de plantas. En 2013, las encuestas realizadas por el equipo de investigación encontraron que solo el 15 % de los productores contaron el número de plantas establecidas por metro para determinar la densidad de plantas en sus parcelas y el rendimiento potencial de esta densidad para optimizar la producción.

Método de siembra y distancia entre filas o hileras

Los cereales de grano pequeño se pueden sembrar de dos maneras básicas: la primera al voleo y la segunda en hileras o surcos. En siembras al voleo siempre se necesita más semilla que en las de hileras o surcos, esto se debe a que una parte de la semilla queda muy enterrada en el suelo y no emerge, por lo que se necesita más semilla para lograr una distribución uniforme en todo el terreno.

En siembras en hileras con sembradora de cereales de grano pequeño, la densidad recomendada es de 100 Kg ha⁻¹ y si la siembra se efectúa en surcos a doble hilera, se necesita, solo 70 Kg ha⁻¹. Este último método consiste en sembrar la semilla en dos hileras sobre los surcos con una separación de 20 cm entre ellas y de 76 cm de ancho entre los surcos.

La adopción de esta práctica de siembra ha aumentado el interés en un espacio entre hileras más amplio, como de 18, 20, 30 y 50 cm según el tipo de cultivo, tipo de suelo y las condiciones climáticas de la región. El espacio entre hileras de siembra más apropiado está determinado entre el rendimiento del cultivo, la facilidad de manejo de rastrojos, manejo de la competencia de malezas y un uso efectivo de los herbicidas. Aunque el espacio entre hileras es algo relativamente simple de cambiar, en el efecto en todo el sistema agrícola puede ser complejo y puede influir en el rendimiento del cultivo, en el momento de la siembra, la maquinaria, el herbicida, la semilla y costos de fertilizantes, el impacto del espacio entre hileras en el rendimiento del cereal varía según la temporada de crecimiento, las precipitaciones, la época de siembra y el rendimiento potencial del cultivo. Cuanto mayor sea el rendimiento potencial del cultivo en una región determinada mayor será el impacto negativo de hileras más anchas en los rendimientos de trigo y cebada.

La siembra de cereales en surcos a doble hilera se recomienda para condiciones de temporal, ya que de acuerdo con Cabañas *et al.* (2004) presenta las siguientes ventajas: la humedad aprovechable en el suelo para las plantas es mayor; la germinación de la semilla es más rápida porque está en contacto con el suelo más húmedo, se requiere menor cantidad de semilla porque está tiene una mejor distribución en el terreno y no reduce el rendimiento de forraje., En cambio, en las siembras al voleo, el suelo pierde humedad cuando se tapa la semilla con la rastra.

Solie *et al.*, (1991) investigaron que la disminución del espacio entre hileras aumenta significativamente los rendimientos de trigo.

Uso de sensores infrarrojos

La evaluación del desarrollo de los cultivos en diferentes condiciones ambientales a través de tecnologías no destructivas, como lo son el uso de sensores infrarrojos, permite identificar la presencia de biomoléculas como el contenido de clorofila, que han sido correlacionados con valores agronómicos como la producción de materia seca, rendimiento de grano, altura de planta, etc.

Actualmente uno de los índices más utilizados es el Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI siglas en inglés) que relaciona la reflectancia producida en la longitud de onda perteneciente al rojo y al infrarrojo cercano. Así pues, varios autores reportan que el NDVI constituye un buen indicador del rendimiento en cereales de secano (trigo y cebada). Para ambos cultivos, el rendimiento aumenta conforme incrementa el valor del NDVI (Barallat 2020).

Los datos del NDVI se han utilizado para monitorear la condición de los cultivos y pronosticar el rendimiento en muchos países del mundo. La estimación de la producción de cultivos de cereales es una prioridad mundial puesto que los granos en cereales tienen una posición importante en la producción agrícola mundial (Rudorff *et al.*, 1996).

Tanto la precipitación como la temperatura constituyen elementos decisivos en el estudio de rendimientos, puesto que el crecimiento y desarrollo del cultivo dependen directamente de estos dos factores; de ahí que se proponga la utilización conjunta del NDVI y las variables climáticas para explicar los rendimientos del cultivo

El NDVI muestra relaciones entre la fisiología del cultivo y el valor hallado, debido a esta correlación se pueden conocer factores como humedad o contenido en nitrógeno (Duan *et al.*, 2017).

Cabrera *et al.* (2011) y Marti *et al.* (2007) quienes encontraron mayor relación de biomasa en la etapa cercana a antesis debido también a que el NDVI mide la proporción entre la luz reflejada por la clorofila y la luz reflejada en otras estructuras celulares (Ma *et al.*, 2001, Aparicio *et al.*, 2002,).

Temperatura del dosel

La temperatura de superficie está directamente relacionada con el flujo de radiación neta recibido y por las condiciones de humedad de dicha superficie, de esta forma se espera que la vegetación puede estar influenciada con dicha temperatura (Mildrexler *et al.*, 2011).

Las altas temperaturas favorecen mayor actividad metabólica de la planta y mayor velocidad de los procesos fisiológicos determinantes de su crecimiento y desarrollo (Milthorpe, 1959).

Correlaciones de variables agronómicas

Gujarati (2004). menciona que en el análisis de correlación el objetivo principal es medir el grado de asociación lineal entre dos variables con el propósito de que las selecciones de materiales se realicen en forma indirecta.

La biomasa máxima en cereales, que se alcanza alrededor de la antesis, se correlaciona fuertemente con rendimiento de grano y es, por lo tanto, un rasgo bien aceptado para el fenotipo de plantas en programas de mejoramiento (Richards *et al.* 2002).

Charles (1997) en la evaluación del rendimiento y sus componentes en trigo encontró que la relación más importante fue el número de granos por espiga con el rendimiento, también encontró correlaciones positivas de rendimiento con la longitud de espigas, con el número de espiguillas por espiga, y altamente significativa con el número de granos por espiga, por el contrario no encontró correlación no significativa entre peso de cien gramos con rendimiento, correlación negativa no significativa entre el número de granos por espiga con peso

helectrolítico, positivas no significativas entre número de granos por espiga con peso de mil granos y rendimiento, correlaciones negativas no significativas entre peso helectrolítico con peso de cien granos y correlaciones positivas y significativas entre rendimiento con peso de mil granos.

Borrcell *et al.* (2000) en su trabajo de materia seca y rendimiento, encontró correlaciones positivas altamente significativas entre rendimiento con índice de materia seca (0.90), y número de granos por metro cuadrado (0.70), y con tamaño de grano negativa y significativa (-0.59), en tasa de crecimiento de grano, correlaciones positivas altamente significativas con rendimiento (0.95) con número de granos por metro cuadrado (0.81), en tasa de duración de llenado de grano, correlación positiva con índice de cosecha (0.73).

El método más popular para estimar los rendimientos de grano de cereales es la aplicación de funciones de correlación utilizando índices de vegetación diferencial normalizados (NDVI); (Rasmussen, 1997; Dempewolf *et al.*, 2014; Roy *et al.*, 2014).

Varios estudios han tratado sobre la relación entre la suma de NDVI, que deriva de los datos de teledetección, y la producción de diferentes cultivos (Goward *et al.*, 1987; Ruimy *et al.*, 1994).

Se observó en un estudio que la altura de planta estuvo negativamente relacionada con el índice de cosecha y con una reducción en la altura de planta, la cual reduce el tamaño de la demanda del tallo, pudo haber disminuido la capacidad de almacenamiento de asimilados en el tallo; una correlación negativa y significativa entre la altura de planta y el índice de cosecha en trigos de invierno, sugiere que el índice de cosecha puede mejorar, reduciendo el tamaño de la planta (Singh y Stoskopf, 1971; Fischer, 1989).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del experimento

El experimento se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el valle de Navidad, municipio de Galeana, al sur del estado de Nuevo León, geográficamente al sureste de la ciudad de Saltillo, Coahuila a 84 km, carretera 57, (Piedras Negras – Ciudad de México); entre las coordenadas 28° 33' Latitud Norte y 106° 36' Longitud Oeste, con una altitud de 1988 msnm.

Preparación del terreno y siembra

La siembra se realizó de manera manual en suelo seco, distribuyéndola semilla lo más uniforme posible en cada surco, luego se hizo el tapado de semilla no tan profunda con la ayuda de un azadón, la fecha de siembra el 23 de febrero de 2021, aun como parte del ciclo O – I 2020 – 2021, el 27 del mismo mes se aplicó el riego de siembra. Se manejaron 12 densidades de siembra (60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160 y 170 Kg ha⁻¹ de semilla).

Fertilización

La dosis de fertilización fue de, 140N-93P-00K, de la cual, a la siembra, se aplicó todo el fósforo, en tanto que el nitrógeno fue fraccionado con 56 unidades a la siembra, y 44 más 40 unidades al 1° y 2°, riegos de auxilio respectivamente, mediante fosfato monoamónico (MAP) y sulfato de amonio.

Riegos

Se dieron tres riegos durante el ciclo del cultivo, el primero a la siembra y tres de auxilio, con una lámina total aproximada de 40 cm.

Muestreos

Se efectuaron tres muestreos, realizados a los 75, 90 y 104 días después de siembra, donde se evaluaron algunas variables agronómicas directamente en el experimento de manera visual y con ayuda de tecnología infrarroja; y otros realizando un corte de muestra de plantas. Así mismo a los 130 días después de la siembra se realizó la cosecha de grano o semilla para evaluar parámetros como altura de espiga, rendimiento de grano y peso de mil semillas.

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; la parcela experimental consistió en 10 hileras de 3 m de longitud, separadas entre sí a 0.3 m, lo que da como tamaño de parcela de 9.0 m². La parcela útil para la estimación del rendimiento forrajero en cada muestreo fue de 0.15 m²; es decir, se cortó el material existente en 0.5 m lineales, en una de las hileras con competencia completa.

Variables evaluadas

Altura de planta (ALT)

Se realizó con una regla de madera de 1.5 m² de longitud, se eligieron al azar plantas de las diferentes parcelas, la medida se tomó de la base del tallo hasta el ápice de la espiga tomando la altura lo más uniforme, llegándose a registrar el promedio, este parámetro se realizó en los tres muestreos hasta que el cultivo alcanzo la madurez fisiológica.

Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)

Se determinó con la ayuda de un sensor portátil marca Green Seeker (™), el cual se sostuvo a mitad de cada parcela, emitiendo su propia luz infrarroja obteniendo diferentes cantidades de luz reflejada y expresando una lectura promedio.

Temperatura del dosel (TEMP)

Se tomó mediante el uso del termómetro infrarrojo IP-54, marca fluke, con una precisión de 0.01°C, sosteniendo el equipo con la mano a mitad de cada parcela, emitiendo un rayo láser que se detectó con una lectura en grados centígrados.

Forraje verde (FV)

Se cosecharon las plantas de 0.5 m lineales de las 36 parcelas experimentales el forraje fresco en verde se pesó en una báscula electrónica y se registró en kg por parcela, posteriormente el dato se convirtió en rendimiento por hectárea y se expresó en t ha⁻¹.

Forraje seco (FS)

El material cosechado (0.5 m lineales) de las 36 parcelas experimentales se dejó secar a temperatura ambiente en un asoleadero, se monitoreó hasta que alcanzara la mayor sequedad del forraje, se pesó en una báscula electrónica y se registró en Kg por parcela, después el dato se convirtió en rendimiento de forraje seco por hectárea y se expresó en $t\ ha^{-1}$.

Etapa fenológica (ETAPA)

Para esta evaluación se realizó una estimación visual de la etapa en la cual se encontraba el cultivo en cada parcela en el momento de cada muestreo considerando como base la escala de Zadoks *et al* (1974). Esta característica nos indica la precocidad o ciclo vegetativo del cultivo.

Tallos por metro cuadrado (TM²)

Para esta variable, en cada parcela experimental, cuando el cultivo se encontraba en madurez fisiológica, en una de las hileras con competencia completa, se contó la cantidad de tallos existentes en 0.5 m lineales y posteriormente se convirtió a tallos por metro cuadrado.

Longitud de espiga (LE)

Se tomaron al azar diez espigas de cada parcela experimental, la medición se hizo con la ayuda de una regla de 30 cm de longitud desde la base de la espiga hasta la espiguilla superior y se obtuvo un promedio de cada unidad experimental.

Granos por espiga (GE)

Se evaluó después de la cosecha, tomando al azar diez espigas de cada parcela experimental, se procedió al trillado de cada espiga y se contabilizó los granos de cada una por separado, se sumaron los de las diez espigas y se obtuvo el promedio.

Rendimiento de grano (RG)

De cada parcela experimental se obtuvo el grano producido en una de las hileras con competencia completa (0.9m²) expresado el peso en gramos para llevarlo después a t ha⁻¹, esto se realizó en laboratorio después de la cosecha.

Peso de 1000 semillas (PMS)

Se realizó después de haber trillado las 10 espigas, se llevó a cabo en el laboratorio, se contó 200 semillas tomadas al azar de cada muestra, se pesaron en una balanza analítica, el peso obtenido se multiplicó por cinco para así obtener el peso de 1000 semillas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se mostrarán los resultados de los análisis de varianza para cada muestreo, con sus respectivas pruebas de comparación de medias, así como las correlaciones entre variables.

Primer muestreo

En el Cuadro 4.1 se representan los resultados del análisis de varianza de las diferentes variables; donde se muestra que, para la fuente de variación de repeticiones, forraje verde (FV), forraje seco (FS) y etapa (ETAPA) resultaron con diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$); altura de planta (ALT) mostro significancia al ($P \leq 0.05$), en tanto que el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y temperatura planta o dosel (TEMP) resultaron no significativas (NS); Para la fuente de variación densidades, altura de planta (ALT), forraje verde (FV) y etapa (ETAPA) mostraron diferencias significativas al ($P \leq 0.05$); mientras que para las variables índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), temperatura dosel (TEMP) y forraje seco (FS) fueron estadísticamente no significativas (NS).

Cuadro 4.1 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para las distintas variables estudiadas en el primer muestreo, Navidad, Nuevo León.

Fuentes de variación	gL	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
Repetición	2	250.694*	0.002 ^{NS}	0.401 ^{NS}	144.79**	7.577**	111.361**
Densidad	11	58.08*	0.004 ^{NS}	0.487 ^{NS}	38.054*	1.482 ^{NS}	40.755*
EExp.	22	83.27	0.002	0.421	33.796	1.418	37.058
CV %		14.665	6.855	2.975	19.571	20.524	9.242

(*) Para designar las diferencias significativas ($P \leq 0.05$), (**) para designar diferencias significativas ($P \leq 0.01$) y NS, no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental; ALT= Altura de planta; NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde; F= Forraje Seco; ETAPA= Etapa fenológica.

En el Cuadro 4.2 se muestran los resultados de las pruebas de comparación de medias (DMS al 0.05%) para el primer muestreo, indicando que para altura de planta (ALT) se formaron dos grupos de significancia dentro de los cuales destaca la densidad de 160 Kg ha⁻¹ con una altura de 70 cm, mientras la densidad de siembra de 110 Kg ha⁻¹ con un porte de 53.33 cm y siendo estadísticamente inferior al resto de las densidades y en concordancia con el análisis de varianza dado que hubo diferencia significativa (Cuadro 4.1).

En el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) la prueba formó tres grupos estadísticos destacando las densidades 160 y 90 Kg ha⁻¹ obteniendo los valores más altos con 0.733 y 0.726 respectivamente, mientras que la densidad de 110 Kg ha⁻¹ registró el menor valor con 0.596.

Para la temperatura dosel (TEMP) solo se formó un grupo, lo cual está relacionado con el análisis de varianza dado que no detectó significancia alguna, no obstante, la densidad de 150 Kg ha⁻¹ obtuvo la temperatura ligeramente más alta con 22.33 °C, mientras que la temperatura menor registrada la obtuvo la densidad de 160 Kg ha⁻¹ con 21.30 °C.

En la variable forraje verde (FV) cuyo análisis de varianza detectó significancia ($P \leq 0.05$), la prueba de medias formó dos grupos estadísticos; destacando la densidad de 170 Kg ha⁻¹ con el mayor rendimiento (34.60 t ha⁻¹), mientras que la densidad de siembra de 80 Kg ha⁻¹ obtuvo el rendimiento más bajo con apenas 20.66 t ha⁻¹, resultado en producción de forraje verde estadísticamente inferior.

Para la variable forraje seco (FS) la prueba de medias igualmente formó dos grupos estadísticos, donde la densidad 160 Kg ha⁻¹ resultó con el mayor rendimiento de 6.37 t ha⁻¹, mientras que la densidad de 80 Kg ha⁻¹ obtuvo el menor rendimiento y estadísticamente inferior con 3.93 t ha⁻¹ de forraje seco.

En cuanto a la variable etapa (ETAPA) destacaron las densidades 150 y 160 kg ha⁻¹ obteniendo el mismo resultado de 70.33 de la escala de Zadoks (1974) lo cual pudiera interpretarse como que cuanto mayor sea la densidad, el cultivo acorta su ciclo (con mayor precocidad), tal vez por la competencia que ejerce el mayor número de plantas por unidad de superficie; en contraste la densidad de 70 Kg ha⁻¹ fue la de menor valor con 60.00 lo cual parece en concordancia con la aseveración anterior, ya que dicho valor corresponde a la segunda densidad más baja y también el cultivo más tardío.

Cuadro 4.2. Resultados de la prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) para las diferentes variables estudiadas en el primer muestreo, Navidad, Nuevo León.

Densidad (Kg ha ⁻¹)	ALT	NDVI	TEM	FV	FS	ETAPA
60	66.66AB	0.686AB	21.50A	30.46AB	5.75AB	61.33AB
70	63.33AB	0.676AB	21.70A	28.26AB	5.37AB	60.00B
80	56.66AB	0.670ABC	21.46A	20.66B	3.93B	61.33AB
90	61.66AB	0.726A	22.26A	31.24A	6.22A	64.33AB
100	65.00AB	0.646BC	21.56A	26.73AB	5.22AB	65.66AB
110	53.33B	0.596C	22.30A	28.93AB	6.29A	66.00AB
120	60.00AB	0.690AB	21.40A	31.38A	6.26A	65.66AB
130	66.66AB	0.676AB	22.16A	28.91AB	5.83AB	65.66AB
140	63.33AB	0.663ABC	22.26A	30.53A	5.82AB	70.00AB
150	63.33AB	0.710AB	22.33A	31.55A	6.22A	70.33A
160	70.00A	0.733A	21.30A	33.15A	6.37A	69.66AB
170	63.33AB	0.700AB	21.66A	34.60A	6.33A	70.33A
MEDIA	62.22	0.681	21.82	29.7	5.8	65.86
DMS	15.45	0.079	1.09	9.84	2.01	10.30

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales; ALT= Altura de planta (cm); NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde (t ha⁻¹); F= Forraje Seco (t ha⁻¹); ETAPA= Etapa fenológica (Escala de Zadoks et al., 1974).

Segundo muestreo

En el Cuadro 4.3 se muestran los resultados del análisis de varianza para las variables estudiadas en donde podemos observar que para la fuente de variación repeticiones, altura de planta (ALT), forraje verde (FV) y forraje seco (FS) resultaron con diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$), mientras que el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), temperatura dosel (TEMP) y etapa (ETAPA) fueron estadísticamente no significativas (NS). Referente a la fuente de variación densidades, al igual que en el primer muestreo (cuadro 4.1) altura de planta (ALT) y etapa (ETAPA) exhibieron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), pero a diferencia de aquel muestreo, ahora fue forraje seco (FS), quien mostro significancia al mismo nivel en vez de forraje verde (FV) que junto con temperatura dosel (TEMP) e índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) no presentaron diferencia significativa (NS).

Cuadro 4.3 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para las distintas variables estudiadas en el segundo muestreo, Navidad, Nuevo León.

Fuente de variación	gL	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
Repetición	2	719.444**	0.001 ^{NS}	2.798 ^{NS}	290.604**	10.152**	10.333 ^{NS}
Densidad	11	108.27*	0.004 ^{NS}	0.505 ^{NS}	27.46 ^{NS}	2.894*	18.303*
EExp.	22	79.292	0.003	0.916	82.094	2.767	19.909
CV %		10.811	9.209	3.808	23.108	17.378	5.896

(*) Para designar las diferencias significativas ($P \leq 0.05$), (**) para designar diferencias significativas ($P \leq 0.01$) y NS, no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental; ALT= Altura de planta; NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde; F= Forraje Seco; ETAPA= Etapa fenológica.

En el Cuadro 4.4 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de comparación de medias (DMS al 0.05%) de las diferentes variables para este segundo muestreo.

Para altura de planta (ALT) se llegaron a formar dos grupos, destacando las densidades 130 y 160 Kg ha⁻¹ que obtuvieron la mayor altura con 88.33 cm, aunque estadísticamente igual a 10 densidades más, mientras que el segundo grupo lo conforman seis densidades, siendo la de menor altura de planta y estadísticamente inferior la densidad de 80 Kg ha⁻¹ con 68.33 cm. La altura de planta es un carácter morfológico que está determinado por el cultivar o genotipo (Alam *et al.*, 2007) y frecuentemente está influenciado por las condiciones ambientales (Tamm, 2003).

Con respecto a la variable índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) la densidad que mejor destacó fue la de 160 Kg ha⁻¹ con un valor de 0.676, mientras que la densidad de 120 Kg ha⁻¹ obtuvo el valor más bajo con 0.566; si bien en el análisis de varianza no mostró significancia, la prueba llegó a formar tres grupos, con diferencias numéricas. Cabrera *et al.* (2011) y Marti *et al.* (2007) quienes encontraron mayor relación de biomasa en la etapa cercana a antesis debido también a que el NDVI mide la proporción entre la luz reflejada por la clorofila y la luz reflejada por otras estructuras celulares (Ma *et al.*, 2001, Aparicio *et al.*, 2002,).

Para la temperatura de dosel (TEMP) destacó la densidad de 150 Kg ha⁻¹ con la temperatura más alta con 25.80 °C, mientras que la temperatura más baja con 24.33 °C la registró la densidad de 60 Kg ha⁻¹, formando un solo grupo lo que sugiere que estadísticamente las temperaturas entre densidades son iguales. Resultados muy similares, aunque con otros valores, reportó Antonio (2022) en la misma localidad con la cebada GABYAN 95.

Para la variable forraje verde (FV) se formó un solo grupo lo cual quiere decir que el comportamiento de la variedad ALICIAN 221 entre las diferentes densidades fue estadísticamente igual, no obstante, la prueba de medias destaca numéricamente la densidad de 70 Kg ha⁻¹ con el mayor rendimiento (43.40 t ha⁻¹), en cambio la densidad de 80 Kg ha⁻¹ fue la que obtuvo el rendimiento más bajo con 33.69 t ha⁻¹.

Estos resultados contrastan con lo reportado por Antonio (2022) quien con la variedad de cebada GABYAN95 también en el segundo muestreo, encontró que la densidad de siembra 80 Kg ha^{-1} propició el rendimiento de forraje verde (FV) más elevado.

Para forraje seco (FS) la densidad de 150 Kg ha^{-1} fue la de mayor rendimiento y estadísticamente superior con 11.15 t ha^{-1} , en contraste la densidad de 80 Kg ha^{-1} produjo el rendimiento más bajo con 7.64 t ha^{-1} , llegando a formarse dos grupos.

En la variable etapa fenológica (ETAPA) cuyo análisis de varianza observó diferencias significativas ($P \leq 0.05$), la prueba de medias formó dos grupos estadísticos, el primero de ellos fue encabezado por la densidad de 120 Kg ha^{-1} con 79.66 de la escala de Zadoks y estadísticamente igual al resto de las densidades, con excepción de la menor (60 Kg ha^{-1}) que provocó significativamente el alargamiento del ciclo de la variedad en estudio (72 de la misma escala).

Cuadro 4.4 Resultados de la prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) para las diferentes variables estudiadas en el segundo muestreo, Navidad, Nuevo León.

Densidad (Kg ha ⁻¹)	ALT	NDVI	TEM	FV	FS	ETAPA
60	83.33AB	0.650ABC	24.33A	38.00A	9.69AB	72.00B
70	80.00AB	0.586ABC	24.90A	43.40A	8.33AB	73.33AB
80	68.33B	0.660ABC	25.00A	33.69A	7.64B	73.33AB
90	85.00A	0.616ABC	25.63A	41.89A	10.35AB	73.33AB
100	86.66A	0.583ABC	25.36A	36.22A	9.31AB	77.00AB
110	75.00AB	0.670AB	25.63A	38.00A	9.24AB	78.33AB
120	78.33AB	0.566C	25.03A	36.48A	9.77AB	79.66A
130	88.33A	0.626ABC	25.00A	41.77A	10.31AB	75.00AB
140	85.00A	0.576BC	25.06A	37.13A	9.80AB	75.00AB
150	86.66A	0.656ABC	25.80A	42.38A	11.15A	78.33AB
160	88.33A	0.676A	24.86A	41.24A	10.46A	77.66AB
170	83.33AB	0.616ABC	24.93	41.27A	8.77AB	75.00AB
MEDIA	82.36	0.623	25.13	39.2	9.57	75.66
DMS	15.07	0.097	1.62	15.32	2.81	7.55

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales; ALT= Altura de planta (cm); NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde (t ha⁻¹); F= Forraje Seco (t ha⁻¹); ETAPA= Etapa fenológica (Escala de Zadoks et al., 1974).

Tercer muestreo

En el Cuadro 4.5 se representan los resultados del análisis de varianza de las diferentes variables estudiadas, en donde se muestra que para la fuente de variación repeticiones, altura de planta (ALT) y forraje verde (FV) mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$); en tanto que para temperatura de planta (TEMP), forraje seco (FS) y etapa (ETAPA) hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$); mientras que el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) no mostró significancia (NS). En lo que respecta a la fuente de variación de densidades, con excepción de etapa fenológica (ETAPA) que presentó significancia ($P \leq 0.05$), el resto de las variables no mostraron diferencias estadísticas (NS).

Cuadro 4.5 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para las distintas variables estudiadas en el tercer muestreo, Navidad, Nuevo León.

Fuente de variación	gL	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
Repetición	2	536.111**	0.001 ^{NS}	1.69*	201.287**	10.993*	4.861*
Densidad	11	41.414 ^{NS}	0.005 ^{NS}	1.012 ^{NS}	42.01 ^{NS}	2.293 ^{NS}	2.088*
EExp.	22	50.505	0.009	1.087	44.39	3.885	1.891
CV %		7.106	22.354	3.859	21.825	16.466	1.569

(*) Para designar las diferencias significativas ($P \leq 0.05$), (**) para designar diferencias significativas ($P \leq 0.01$) y NS, no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental; ALT= Altura de planta; NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde; F= Forraje Seco; ETAPA= Etapa fenológica.

En el Cuadro 4.6 se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias (DMS al 0.05%) para el tercer muestreo. Para altura de planta (ALT) se formó solo un grupo estadístico, destacando numéricamente la densidad de 160 Kg ha⁻¹ siendo la de mayor altura con 95 cm, mientras que el porte más bajo lo obtuvieron las densidades de 70, 80, 110, 120 y 140 Kg ha⁻¹ con 83.33 cm. Estos resultados concuerdan con (Hossain *et al.* 2004) quienes informaron que la densidad de siembra en su estudio no tuvo un efecto significativo en la altura de la planta. Sin embargo, estos resultados difieren con Sulieman (2010) quien informó que el aumento en la densidad de siembra resultó en un ligero incremento en la altura de las plantas.

Para la variable índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) se formó un solo grupo el cual es encabezado por la densidad de 140 Kg ha⁻¹ con el valor más alto (0.526) mientras que la densidad de 90 Kg ha⁻¹ fue la que obtuvo el menor valor registrado con 0.376. El NDVI desciende como consecuencia de la etapa de madurez fisiológica del cultivo. La fuerte relación entre el NDVI hasta la antesis demuestra el fuerte efecto del periodo de crecimiento antes de la floración para el rendimiento de grano del cereal (Ritchie *et al.*, 1998; López-Lozano *et al.*, 2015).

En cuanto a la temperatura de dosel (TEMP), con una temperatura de 28 °C fue la mayor registrada que corresponde a la densidad de 80 Kg ha⁻¹, en tanto que la densidad de 110 Kg ha⁻¹ fue la que obtuvo la temperatura más baja con 25.93 °C formando solo dos grupos. Estos resultados al igual que en el segundo muestreo, difieren en buena medida de los reportados por Antonio (2022).

En la variable forraje verde (FV) aunque el análisis de varianza no reportó significancia, la prueba de medias formó dos grupos estadísticos, destacando numéricamente en el primero de ellos la densidad de siembra más baja (60 Kg ha⁻¹) con 38.77 t ha⁻¹, en tanto que el menor rendimiento de forraje verde lo presentó la densidad de 110 Kg ha⁻¹ con 26.93 t ha⁻¹, seguido de la mayor densidad de 170 Kg

ha⁻¹ con 26.89 t ha⁻¹. Eventualmente la producción de biomasa a densidades altas puede ser reducida causando un índice de cosecha más bajo y muy alto en densidades de siembra bajas (Weiner y Freckleton (2010), Weiner (1980)).

Para la variable forraje seco (FS) la de medias formo un solo grupo estadístico con diferencias numéricas importantes en favor de la densidad de 160 Kg ha⁻¹ que produjo 13.51 t ha⁻¹, en tanto que el menor rendimiento de forraje lo presentó la densidad de 80 Kg ha⁻¹ con 10.46 t ha⁻¹, es decir 3.05 t ha⁻¹ menos que su contraparte, lo que equivale a una diferencia del 21.52%.

Para la etapa fenológica de la planta (ETAPA) que al igual que en los muestreos anteriores, el análisis de varianza detecto diferencias estadísticas significativas, la prueba de medias formó dos grupos de significancia, el primero de ellos encabezado por las densidades 100 y 120 Kg ha⁻¹ con 89.00 de la escala de Zadoks, mientras que el valor más bajo y en consecuencia la etapa más tardía, la propició la densidad de 60 Kg ha⁻¹ con 86.33 de la misma escala.

Cuadro 4.6 Resultados de la prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) para las diferentes variables estudiadas en el tercer muestreo, Navidad, Nuevo León.

Densidad (Kg ha ⁻¹)	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
60	91.66A	0.486A	26.86AB	38.77A	12.44A	86.33B
70	88.33A	0.450A	26.93AB	27.62AB	11.09A	88.00AB
80	83.33A	0.423A	28.00A	29.86AB	10.46A	87.00AB
90	91.66A	0.376A	27.50AB	28.91AB	12.06A	87.00AB
100	86.66A	0.446A	26.70AB	26.40B	11.31A	89.00A
110	83.33A	0.403A	25.93B	35.31AB	12.02A	87.33AB
120	88.33A	0.403A	26.56AB	29.40AB	11.80A	89.00A
130	91.66A	0.403A	27.26AB	28.53AB	11.40A	88.00AB
140	88.33A	0.526A	26.86AB	29.11AB	12.60A	87.00AB
150	91.66A	0.403A	27.93A	31.31AB	13.20A	87.00AB
160	95.00A	0.400A	27.00AB	34.20AB	13.51A	88.00AB
170	93.33A	0.386A	26.73AB	26.89B	11.73A	88.00AB
MEDIA	89.44	0.42	27.02	30.52	11.97	87.63
DMS	12.03	0.161	1.76	11.28	3.33	2.32

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales; ALT= Altura de planta (cm); NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde (t ha⁻¹); F= Forraje Seco (t ha⁻¹); ETAPA= Etapa fenológica (Escala de Zadoks et al., 1974).

Análisis de varianza combinados a través de los tres muestreos

En el Cuadro 4.7 se muestran los resultados del análisis de varianza combinado a través de muestreos de las diferentes variables estudiadas, en donde se puede ver que para la fuente de variación repeticiones para las variables, altura de planta (ALT), forraje verde (FV) y forraje seco (FS) resultaron con diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$); temperatura dosel (TEMP) y etapa (ETAPA) mostraron solo significancia ($P \leq 0.05$); en tanto que en el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) no hubo significancia (NS).

Para la fuente de variación muestreos, todas las variables fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$); así como muestreos dentro de repeticiones, con excepción para la variable etapa fenológica (ETAPA) que exhibió significancia ($P \leq 0.05$) todas las variables fueron no significativas (NS).

En cuanto a la fuente de variación densidades, la variable altura de planta (ALT) resultó altamente significativa ($P \leq 0.01$); mientras que forraje verde (FV), forraje seco (FS) y etapa fenológica (ETAPA) mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$); así mismo el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y temperatura de dosel (TEMP) resultaron no significativas (NS). En lo referente a la interacción muestreos por densidades, todas las variables fueron estadísticamente no significativas (NS).

Los coeficientes de variación (CV) de todos los análisis de varianza, oscilaron entre 1.569 % para la variable etapa fenológica (ETAPA) del tercer muestreo (Cuadro 4.5) y 23.108 % para forraje verde (FV) del segundo muestreo (Cuadro 4.3) los cuales se ubican dentro de un rango aceptable, por lo tanto, los resultados pueden considerarse confiables.

Cuadro 4.7 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza combinados a través de muestreos para las diferentes variables, Navidad, Nuevo León.

Fuente de variación	gL	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
Repetición	2	1430.787**	0.000 ^{NS}	2.170*	574.250**	27.699**	77.583*
Muestreo	2	7180.787**	0.646**	249.050**	998.183**	347.951**	4282.527**
Muest(Rep)	4	37.731 ^{NS}	0.002 ^{NS}	1.360 ^{NS}	31.216 ^{NS}	0.511 ^{NS}	24.48*
Densidades	11	171.948**	0.002 ^{NS}	0.988 ^{NS}	49.437*	5.423*	33.929*
Muest *Dens	22	17.908 ^{NS}	0.005 ^{NS}	0.508 ^{NS}	29.043 ^{NS}	0.623 ^{NS}	13.608 ^{NS}
EExp.	66	71.022	0.004	0.808	53.427	2.690	19.619
CV%		10.803	12.067	3.646	22.051	17.994	5.798

(*) para designar las diferencias significativas ($P \leq 0.05$), (**) para designar diferencias significativas ($P \leq 0.01$) y NS, no significancia. ALT= Altura de planta (cm); NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde ($t\ ha^{-1}$); F= Forraje Seco ($t\ ha^{-1}$); ETAPA= Etapa fenológica (Escala de Zadoks et al., 1974)

En base a la significancia estadística reportada por los análisis de varianza combinados a través de muestreos para la mayoría de las variables, se realizaron pruebas de comparación de medias (DMS al 0.05); con los resultados que aparecen en el (Cuadro 4.10) y se describe enseguida.; para altura de planta (ALT) la prueba de medias formo cuatro grupos estadísticos, destacando la densidad de 160 Kg ha^{-1} con la mayor altura promedio con 84.44 cm y estadísticamente igual que ocho densidades más, la menor altura de planta en promedio de los tres muestreos la presento la densidad de 80 Kg ha^{-1} con 69.44 cm; el promedio en general de la variedad fue 78.00 cm.

Para la variable NDVI en la cual la prueba de medias estableció un solo grupo de significancia, se puede observar diferencias numéricas, tal es el caso de las densidades 60 y 160 Kg ha⁻¹ que obtuvieron los mayores índices de verdor con 0.607 y 0.603 respectivamente, en tanto que los menores valores correspondieron a las densidades intermedias (120 y 110 Kg ha⁻¹) con 0.553 y 0.556 en el mismo orden.

En cuanto a temperatura de planta o dosel (TEMP) que al igual que la variable anterior, su análisis de varianza no detectó diferencias significativas, la prueba de medias formó tres grupos estadísticos, el primero de los cuales lo encabeza la densidad 150 Kg ha⁻¹ con 25.35 °C, aunque estadísticamente igual a siete densidades más, en tanto que la temperatura menor (24.23 °C) la presentó la densidad más baja (60 Kg ha⁻¹) y estadísticamente igual a otras nueve densidades.

En lo que respecta a forraje verde (FV), la densidad de 160 Kg ha⁻¹ fue la que más sobre salió con un rendimiento de 36.19 t ha⁻¹, por otro lado, la densidad de siembra de 80 Kg ha⁻¹ fue la que propició el menor rendimiento con 28.07 t ha⁻¹, formándose solo dos grupos de significancia estadística.

La prueba de comparación medias para forraje seco (FS) formó cuatro grupos estadísticos, destacando en el primero de ellos las densidades de 150 y 160 Kg ha⁻¹ con rendimientos de forraje seco de 10.19 y 10.11 t ha⁻¹, siendo estadísticamente iguales a seis densidades más; la densidad que registro el menor rendimiento y estadísticamente inferior fue 80 Kg ha⁻¹ con 7.34 t ha⁻¹, ubicada en el mismo cuarto grupo que dos densidades más. Estos resultados difieren en gran medida con lo que reporta Antonio (2022) quien no encontró diferencias estadísticas significativas entre densidades de siembra para rendimiento de forraje seco con la variedad GABYAN 95.

Con relación a la etapa fenológica (ETAPA), la prueba de medias estableció tres grupos de significancia, en el primero de los cuales al igual que en la variable anterior, destacan las densidades 150, 160 y 120 Kg ha⁻¹ con 78.55, 78.44 y 78.11 de la escala de Zadoks en el mismo orden, siendo las densidades que favorecieron la precocidad de la variedad ALICIAN 221, mientras que las que tendieron a alargar su ciclo vegetativo y estadísticamente inferiores fueron las densidades más bajas (60, 70 y 80 Kg ha⁻¹) con valores de 73.22, 73.77 y 73.88 de la misma escala respectivamente. Con diferentes valores, pero la misma tendencia reportó Antonio (2022) en su estudio con densidades de siembra en cebada.

Cuadro 4.8 Resultados de las pruebas de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) combinadas a través de muestreos, Navidad, Nuevo León.

Densidad (Kg ha ⁻¹)	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
60	78.33ABC	0.607A	24.23C	35.74A	9.29ABC	73.22C
70	77.22ABCD	0.570A	24.51ABC	33.09AB	8.26CD	73.77BC
80	69.44D	0.584A	24.82ABC	28.07B	7.34D	73.88BC
90	79.44AB	0.573A	25.13AB	34.01AB	9.54ABC	74.88ABC
100	79.44AB	0.558A	24.54ABC	29.78AB	8.61BCD	77.22ABC
110	70.55CD	0.556A	24.62ABC	34.08AB	9.18ABC	77.22ABC
120	75.55BCD	0.553A	24.33BC	32.42AB	9.28ABC	78.11A
130	82.22AB	0.568A	24.81ABC	33.07AB	9.17ABC	76.22ABC
140	78.88AB	0.588A	24.73ABC	32.25AB	9.40ABC	77.33ABC
150	80.55AB	0.590A	25.35A	35.08A	10.19A	78.55A
160	84.44A	0.603A	24.38BC	36.19A	10.11AB	78.44A
170	80.00AB	0.567A	24.44BC	33.92AB	8.94ABC	77.77AB
MEDIA	78.00	0.576	24.66	33.14	9.11	76.38
DMS	7.93	0.07	0.85	6.87	1.54	4.16

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. ALT= Altura de planta (cm); NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde (t ha⁻¹); F= Forraje Seco (t ha⁻¹); ETAPA= Etapa fenológica (Escala de Zadoks et al., 1974).

Características o variables comunes en ensayos de grano o semilla

En el Cuadro 4.9 se representan los resultados del análisis de varianza de las diferentes variables estudiadas para rendimiento de grano o semilla, en donde se muestra que para la fuente de variación repeticiones, longitud de espiga (LE), granos por espiga (GE) y rendimiento de grano (RG) resultaron con diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$), mientras que para la variable tallos por metro cuadrado (TM^2) fue estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$); en tanto que la variable peso de mil semillas (PMS) no mostró significancia (NS). Para la fuente de variación densidades, granos por espiga (GE) y peso de mil semillas (PMS) resultaron ser estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$); a diferencia de tallos por metro cuadrado (TM^2), longitud de espiga (LE) y rendimiento de grano (RG) que no mostraron significancia (NS).

Cuadro 4.9 Valores de cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para las variables de grano, Navidad, Nuevo León.

Fuente de variación	gL	TM^2	LE	GE	RG	PMS
Repetición	2	7404.777*	1.976**	163.636* *	14.204* *	0.681 ^{NS}
Densidad	11	1802.452 ^{NS}	0.150 ^{NS}	29.323*	0.669 ^{NS}	9.307*
EExp.	22	2611.535	0.2.73	17.226	0.818	5.676
CV %		9.505	6.312	8.118	15.784	5.569

(*) para designar las diferencias significativas ($P \leq 0.05$), (**) para designar diferencias significativas al ($P \leq 0.01$) y NS, no significancia. TM^2 = Tallos por m²; LE= Longitud de espiga; GE= Granos por espiga; RG=Rendimiento de grano; PMS= Peso de mil semillas.

En el Cuadro 4.10 se muestran los resultados de las pruebas de comparación de medias (DMS al 0.05) para las variables de grano o semilla.

Para la variable tallos por metro cuadrado (TM²) estadísticamente no hubo significancia alguna dentro de las densidades evaluadas, y también la prueba de medias formó un solo grupo, la densidad que numéricamente más destacó fue la de 100 Kg ha⁻¹, con 573.67 TM² mientras que la densidad de 120 Kg ha⁻¹ registro menos tallos con 502.33 TM², estos resultados coinciden con Feyissa *et al.*, (2008), quienes reportaron que los tallos representan más del 50% de la producción de forraje seco total en todos los genotipos.

Por ello, recomiendan que genotipos con mayor cantidad de tallos pueden ser usados para ensilaje, mientras que Amanullah *et al.* (2011) concluyeron que diferentes cultivares de cebada desarrollaron diferentes números de tallos por planta, bajo condiciones de secano.

En cuanto a la variable longitud de espiga (LE) igualmente la prueba formó un solo grupo estadístico en el que la densidad que destacó con las espigas más largas fue la de 90 Kg ha⁻¹ con una longitud de 8.63 cm, en contraste la densidad de 100 Kg ha⁻¹ registró las espigas de menor longitud con 7.93 cm; estos resultados coinciden parcialmente con; Naveed *et al.* (2014) concluyeron en su estudio que las espigas de mayor longitud fueron resultado de la utilización de la densidad de siembra más baja (100 Kg ha⁻¹) posiblemente debido a la disponibilidad óptima de nutrientes que permitieron a las plantas llevar a cabo efectivamente la fotosíntesis y, por lo tanto, se produjo una mayor asimilación que finalmente aumentó la longitud de las espigas.

Para la variable granos o semillas por espiga (GE), en la cual el análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), la prueba de medias estableció tres grupos de significancia, siendo el primero de ellos favorecido por la densidad de 150 Kg ha⁻¹ con 56.93 granos y estadísticamente igual a siete densidades más; en tanto que el menor número de granos o semillas correspondió a la densidad 100 Kg ha⁻¹ con 45.90 granos y estadísticamente igual a otras siete

densidades. Estos resultados difieren de los reportados por Antonio (2022), quien reporta diferencias no significativas para número de granos por espiga.

En la variable de mayor importancia en la producción de grano o semilla; rendimiento de grano (RG), en concordancia con la ausencia de diferencias significativas en el análisis de varianza respectivo, la prueba de comparación de medias formó un solo grupo estadístico en el cual se observa que la densidad de 140 Kg ha⁻¹ presentó el rendimiento relativamente mayor con 6.31 t ha⁻¹, mientras que el menor lo propició la densidad 80 Kg ha⁻¹ con 5.06 t ha⁻¹, habiendo una diferencia de 1.25 t ha⁻¹ en el rango de esta variable.

Los resultados de este estudio concuerdan en buena medida con los de Ozturk *et al.* (2006), quienes observaron que el rendimiento de grano de trigo aumentó con la densidad de siembra.

Una combinación adecuada de tasa de siembra y espacio entre hileras podría aumentar el rendimiento de grano de trigo (Marshall y Ohm, 1987), mientras que las tasas de siembra por sí solas no influyeron mucho en el rendimiento de grano (Rafique, *et al.*, 1997).

Para el peso de mil semillas o granos (PMS) cuyo análisis de varianza registro diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), la prueba de medias estableció dos grupos de significancia, el primero de los cuales fue encabezado por la densidad de 120 Kg ha⁻¹ con 46.11g, aunque estadísticamente igual a seis densidades más; en contraste, la densidad de que produjo el menor peso de mil granos o semillas fue 90 Kg ha⁻¹ con 40.41 g y estadísticamente igual a las restantes diez densidades.

Generalmente el peso del grano está determinado por la duración de la etapa de llenado (García del Moral *et al.*, 2003), pero las temperaturas altas durante esta etapa lo reducen (Alam *et al.*, 2007). Generalmente el cultivar influye sobre el peso de mil granos (Soleymani y Shahrajabian, 2012).

Otros factores que influyen en el peso del grano son la calidad de luz interceptada y posición del grano en la espiga (Copeland y McDonald, 1995).

Cuadro 4.10 Resultados de la prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) para las variables de grano, Navidad, Nuevo León.

Densidad (Kg ha ⁻¹)	TM ²	LE	GE	RG	PMS
60	551.33A	8.24A	49.36BC	6.28A	43.81AB
70	560.00A	8.14A	52.30ABC	5.08A	41.61B
80	506.67A	8.31A	46.83BC	5.06A	43.44AB
90	531.00A	8.63A	53.10AB	5.55A	40.41B
100	573.67A	7.93A	45.90C	5.27A	43.38AB
110	562.33A	8.04A	48.80BC	5.24A	43.39AB
120	502.33A	8.62A	53.16AB	6.22A	46.11A
130	533.33A	8.26A	50.30ABC	6.09A	41.36B
140	555.67A	8.40A	53.83AB	6.31A	43.87AB
150	506.33A	8.31A	56.93A	5.98A	44.40AB
160	520.00A	8.04A	50.50ABC	5.89A	40.59B
170	549.00A	8.49A	52.43ABC	5.78A	40.99B
MEDIA	537.63	8.28	51.12	5.73	42.78
DMS	86.53	0.88	7.02	1.53	4.03

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. TM² =Tallos por m²; LE= Longitud de espiga (cm); GE= Granos por espiga; RG=Rendimiento de grano (t ha⁻¹); PMS= Peso de mil semillas.

Correlaciones entre variables

En el Cuadro 4.11 se muestran los resultados de la correlación entre las variables evaluadas para el primer muestreo, donde se observa que altura de planta (ALT) se asoció positiva y significativamente con el índice de vegetación diferencial normalizado ($r=0.60$); forraje verde (FV) como se esperaba, mostró correlación positiva y significativa con forraje seco ($r=0.93$) y ambos tipos de forraje con etapa ($r=.63$) y (0.60).

En síntesis, se puede inferir que, para este muestreo, cuanto más alta es la planta, el índice de verdor se incrementa y viceversa, a mayor producción de forraje verde, consecuentemente mayor rendimiento de forraje seco y ambos tipos de forraje se incrementan con el avance de la etapa fenológica, Colín *et al.*, (2007); Torres *et al.*, (2019) reportaron resultados similares; en trabajos con diferentes genotipos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y la variedad GABYAN 95.

Cuadro 4.11 Correlaciones entre las diferentes variables para el primer muestreo, Navidad, Nuevo León.

	ALT	NDVI	TEM	FV	FS	ETAPA
ALT	1.00	0.60 *	-0.28	0.44	0.23	0.23
NDVI		1.00	-0.23	0.47	0.26	0.21
TEM			1.00	0.13	0.31	0.29
FV				1.00	0.93 *	0.63 *
FS					1.00	0.60 *
ETAPA						1.00

* para designar las correlaciones significativas. ALT= Altura de planta (cm); NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde ($t\ ha^{-1}$); F= Forraje Seco ($t\ ha^{-1}$); ETAPA= Etapa fenológica (Escala de Zadoks et al., 1974).

Las correlaciones del segundo muestreo se presentan en el Cuadro 4.12 donde se observa claramente que algunas correlaciones del primer muestreo, en una etapa fenológica más joven del cultivo (75 días después del riego de siembra) dejaron de existir, y en este segundo muestreo (90 días después del mismo riego), solo altura de planta (ALT) se asoció positivamente y significativamente con forraje verde (FV) y forraje seco (FS) con coeficientes de; $r=0.58$ y $r=0.75$ respectivamente.

Cuadro 4.12 Correlaciones entre las diferentes variables para el segundo muestreo, Navidad, Nuevo León.

	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
ALT	1.00	-0.14	0.03	0.58 *	0.75 *	0.10
NDVI		1.00	0.06	0.08	0.12	-0.01
TEM			1.00	0.15	0.33	0.48
FV				1.00	0.44	-0.07
FS					1.00	0.40
ETAPA						1.00

* para designar las correlaciones significativas. ALT= Altura de planta (cm); NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde ($t\ ha^{-1}$); F= Forraje Seco ($t\ ha^{-1}$); ETAPA= Etapa fenológica (Escala de Zadoks et al., 1974).

Para el tercer muestreo 104 ddrs incluyendo las seis variables comunes en ensayos de grano, solo se mantiene la asociación positiva y significativa entre altura de planta (ALT) y forraje seco (FS), además se encontró una respuesta en sentido negativo entre forraje verde (FV) y etapa fenológica (ETAPA) con $r=0.56$, lo cual es muy normal ya que a medida que el cultivo avanza en su madurez, la cantidad de humedad propia del forraje verde (FV) disminuye inevitablemente. Al respecto Torres *et al.*, (2019) citan que las correlaciones entre variables tanto infrarrojo como agronómicas, son de diferente índole y sentido de un muestreo a otro, incluso tienden a disminuir o desaparecer.

Al incluir en este análisis de correlación las variables de grano o semillas por la proximidad de la madurez, se observa en el Cuadro 4.13 se establecieron otras asociaciones positivas y significativas, tales como; altura de planta (ALT) y forraje seco (FS) con rendimiento de grano (RG), $r=0.58$ y $r=0.60$ respectivamente.

López - Castañeda (2011) cita que el rendimiento de grano se asocia con la acumulación de materia seca en las plantas, por existir mayor disponibilidad de asimilados para el llenado del grano, cita además que, en cebada, la altura de planta tiene correlación con los rendimientos de forraje y grano o semilla.

En el mismo Cuadro 4.13, la variable longitud de espiga (LE) se relacionó positivamente con granos por espiga ($r=0.60$), lo cual indica que cuanto más larga sea la espiga, presenta mayor número de espiguillas y granos. Ocurrió también una correlación significativa, pero en sentido negativo, ($r=-0.56$) entre temperatura de planta o dosel (TEMP) con tallos por metro cuadrado (TM^2).

Cuadro 4.13 Correlaciones del tercer muestreo y las variables de rendimiento de grano o semilla, Navidad, Nuevo León.

	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA	TM ²	LE	GE	RG	PMS
ALT	1.00	-0.22	0.18	0.07	0.60*	-0.02	-0.18	0.23	0.48	0.58*	-0.48
NDVI		1.00	-0.14	0.15	0.03	-0.28	0.45	-0.21	-0.09	0.25	0.36
TEMP			1.00	-0.18	-0.05	-0.37	-0.61*	0.26	0.22	-0.04	-0.13
FV				1.00	0.51	-0.56*	-0.06	-0.25	-0.12	0.27	0.18
FS					1.00	-0.26	-0.16	-0.02	0.53	0.60*	-0.00
ETAPA						1.00	0.05	-0.14	-0.17	-0.13	0.05
TM ²							1.00	-0.49	-0.35	-0.25	-0.22
LE								1.00	0.58*	0.40	0.10
GE									1.00	0.49	0.07
RG										1.00	0.27
PMS											1.00

* Para designar las correlaciones significativas. ALT= Altura de planta (cm); NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; FV= Forraje verde (t ha⁻¹); F= Forraje Seco (t ha⁻¹); ETAPA= Etapa fenológica (Escala de Zadoks et al., 1974); TM² =Tallos por m²; LE= Longitud de espiga (cm); GE= Granos por espiga; RG=Rendimiento de grano; PMS= Peso de mil semillas.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en este experimento y dadas las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo, se concluye lo siguiente:

- Entre densidades de siembra, se encontraron diferencias estadísticas en el primer muestreo para altura de planta, forraje verde y etapa fenológica. Para el segundo, altura de planta, forraje seco y etapa, pero en el tercero solo etapa, además de granos por espiga y peso de mil semillas. De forma conjunta; altura de planta, forraje verde, forraje seco y etapa.
- La densidad de siembra no influyó significativamente en la expresión del NDVI y la temperatura de planta o dosel de la variedad ALICIAN 221.
- Aunque con algunas excepciones, el comportamiento de la variedad ALICIAN 221, se vio influenciado mayormente por las densidades de siembra entre 130 y 160 Kg ha⁻¹.
- Altura de planta resulto ser la variable que más influye en el comportamiento productivo de ALICIAN 221, dada la consistente significancia de su correlación con rendimiento de forraje verde, forraje seco y de grano.
- Es conveniente continuar investigando sobre este tema en condiciones edafoclimáticas diferentes a las de este estudio para para corroborar los resultados y ofrecer recomendaciones confiables.

LITERATURA CITADA

- Alam, M. Z., S. A. Haider, and N. K. Paul. 2007. Yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to sowing times. *J. Biol. Sci.* 15: 139-145.
- Amanullah, S. K., S. K. Khalil, A. Jan, A. Z. Khan, and K. Nawab. 2011. Performance of high yielding wheat and barley cultivars under moisture stress. *Pak. J. Bot.* 43: 2143-2145.
- Antonio, M.L. 2022. Comportamiento productivo de la variedad de cebada forrajera GABYAN 95 bajo diferentes densidades de siembra en el sur de Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura, UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Aparicio, N., Villegas, D., Araus, J. L., Casadesus, J., & Royo, C. 2002 Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. *Crop Science* 42: 1547–1555.
- Barallat, P.P. 2020 teledetección aplicada en 6,43 ha de cereales de secano en Collado de Contreras (Ávila) y Yanguas de Eresma (Segovia). Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Blake, T. V. C.; Blake, J. G.; Bowman, P. and H. Abdel, H. 2011. Barley feed uses and quality improvement. In: *Barley: Production, Improvement, and Uses*. Ullrich, S. E. (Ed.). Wiley-Blackwell, Oxford, UK. 522-531 pp.
- Brouwer, C. and M. Heibloem. 1986. Irrigation water management: irrigation water needs. Training Manual No. 3, FAO-Rome, Italy. 89 p.
- Cabrera- Bosquet, L., Molero, G., Stellacci, A. M., Bort, J., Nogues, S., & Araus, J. L. 2011 NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Res. Commun.* 39:147–159. doi:10.1556/CRC.39.2011.1.15.
- Charles, C. J. 1997. Evaluación del rendimiento y sus componentes en Triticale (X.Triticosecale Wittmack) del tipo completo en sus ambientes del norte de

- México. Tesis de maestro en ciencias en Fitomejoramiento. UAAAN. Buenavista Saltillo, Coahuila, México 101.pp
- Colín, R. M., V. M. Zamora, V., M. A. Torres, T. y M. A. Jaramillo, S. 2009. Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en el norte de México. *Téc. Pec. Méx.* 47(1):27-40.
- Colín, R. M.; Zamora, V. V. M.; Lozano del R, A. J.; Martínez, Z. G. y Torres, T. M. A. 2007. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. *Téc. Pec. Méx.* 45(3):249-262.
- Copeland, L. O., and M. B. McDonald. 1995. Principles of seed science and technology. 3rd ed. Chapman and Hall. New York. United States. 393 p.
- Darapuneni, M. K., Morgan, G. D., Shaffer, O. J., & Dodla, S. 2016. Impact of Planting Date and Seeding Rate on Forage and Grain Yields of Dual-Purpose Wheat in Central Texas. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 2(1).
- Duan, T., Chapman, S.C., Guo, Y., Zheng, B. 2017. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *F. Crop. Res.* 210, 71-80. doi: 10.1016/j.fcr.2017.05.025.
- Enciso, J., D. Porter, G. Fipps, and P. Colaizzi. 2004. Irrigation of forage crops. B-6150 AgriLife Extension-Texas A&M System. 8 p.
- FAO. 2004b. *Hordeum vulgare*. ECOCROP 1. The environmental requirements database. Rev 2. Rome, Italy. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/dataSheet?id=1232>. (Consultado el 15/11/2011)
- Feyissa F, A. Tolera and S. Melaku. 2008. Proportions of morphological fractions of oats (*Avena sativa* L.) as affected by variety and growth stage. *Livestock Res. Rural Development*. Vol. 20, No. 6.

- Foster, E. and Prentice N. 1987. Barley. In: nutritional quality of cereal grains; genetic and agronomic improvement-agronomy. Monograph no. 28. South Segoe Road, Madison, USA. 337- 396 pp.
- García del Moral, L. F., Y. Rharrabti, D. Villegas, and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in Durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Agron. J.* 95: 266-274.
- Giles, B., and Bothmer, R. von. 1985. The progenitor of barley (*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*)- its importance as a gene source. *J. Swedish Seed Assoc.* 95:53-61.
- Gujarati, D.N. 2004. *Econometría*. Cuarta edición. McGraw-HALL. Interamericana Editores, S. A. DE C. V. 972 pp.
- Hossain, M. I., C. Meisner, J. M. Duxbury, J. G. Lauren, M. M. Rahman, M. M. Meer, and M. H. Rashid. 2004. Use of raised beds for increasing wheat production in rice-wheat cropping systems. *New directions for a diverse planet. Proc. 4th Int. Crop Sci. Congress. Brisbane, Australia. Published on CD. Web site www.cropscience.org.au.*
- López-Castañeda, C. 2011. Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 14: 907-918.
- Lopez-Lozano, R., Duveiller, G., Seguini, L., Meroni, M., García-Condado, S., Hooker, J., Oliver, L., Baruth, B., 2015. Towards regional grain yield forecasting with 1 km resolution EO biophysical products: strengths and limitations at pan-European level. *Agric. For. Meteorol.* 206, 12–32.
- Ma, B., Dwyer, L., Costa, E., & Cober, M. 2001. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. *Agronomy Journal* 93:1227-1234. Doi: 10.2134/agronj2001.1227.
- Marshall, G. C. and H. W. Ohm .1987. Yield responses of 16 winter wheat cultivars to row spacing and seeded rate. *Agron. J.* 79: 1027-1030.

- Martí, J., Bort, J., Slafer, G. A., & Araus, J. L. 2007 Can wheat yield be assessed by early measurements of Normalized Difference Vegetation Index? *Annals of Applied Biology* 150:253–257. Doi: 10.1111/j.1744-7348.2007.00126.x
- Martínez, H O. L. 2006. Productividad Forrajera de Nuevas Líneas de Cebada Imberbe (*Hordeum vulgare* L.) en Tres Ambientes del Norte de México. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Milthorpe F L 1959 Studies on the expansion of the leaf surface. 1. The influence of temperature. *J. Exp. Bot.* 10 (29): 233-249.
- Molina-Cano, J.I., Igartua, E., Moralejo, M.I.E., and Romagosa, I. 1999. Further evidence supporting Morocco as a center of origin of barley. *Theoretical and Applied Genetics* 98:913-918. DOI: 10.1007/s001220051150.
- Naveed, K., M.A. Khan, M.S. Baloch, K. Ali, M.A. Nadim, E.A. Khan, S. Shah and M. Arif. 2014. Effect of different seeding rates on yield attributes of dual-purpose wheat. *Sarhad J. Agric.*, 30(1): 83-91.
- OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations 2020, “Cereales”, in OECD-FAO.
- OECD/FAO (2020), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a0848ac0-es>.
- Oplinger, E.S., T.S. Maloney, and D.W. Wiersma. 1997. Fall and spring forage yield and quality from fall seeded cereal crops. *Soybeans and small grains* 26. University of Wisconsin. 7p.
- Ozturk, A., O. Caglar, and S. Bulut. 2006. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. *J. Agron. Crop Sci.* 192: 10-16.
- Rafique, M., A. Ahmad, N. Muhammad, M. Siddique and M. Kamran 1997. Effect of seeding densities and planting techniques on late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) yield. *J. Agric. Res.* 35(3):147-153.

- Rasmussen, M. S. 1997. Operational yield forecast using AVHRR NDVI data: reduction of environmental and inter-annual variability. *Int J Remote Sens.* 18(5):1059–1077.
- Richards, R.A. 2002. Seedling vigour in wheat – sources of variation for genetic and agronomic improvement. *Aust. J. Agric. Res.* 53:41–50.
- Ritchie, J.T., Singh, U., Godwin, D.C., Bowen, W.T., 1998. Cereal growth, development and yield. In: *Understanding Options for Agricultural Production*. Springer, Dordrecht, pp. 79–98.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R. 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Int J Remote Sens.* 145:154–172.
- Rudorff, B. F. T., Mulchi, C. L., Daughtry, C. S. T., Lee, E.H. 1996. Growth, radiation use efficiency, and canopy reflectance of wheat and corn grown under elevated ozone and carbon dioxide atmospheres. *Remote Sensing of Environment*, vol. 55, no 2, pp. 163-173.
- Soleymani, A., and M. H. Shahrajabian. 2012. Changes in seed yield and yield components of elite barley cultivars under different plant populations and sowing dates. *J. Food Agric. Environ.* 10: 596-598.
- Solie, J.B., S.G. Solomon, K.P. Self, T.F. Peeper & J.A. Koscelny. 1991. Reduced row spacing for improved wheat yields in weed-free & weed-infested fields. *Transactions of the ASAE* 34: 1654-1660.
- Stein, J., Naithani, S., Monaco, M., Wei, S., Dharmawardhana, P., Kumari, S., Amarasinghe, V., Youens-Clark, K., Thomason, J., Preece, J., Pasternak, S., Olson, A., Jiao, Y., Lu, Z., Bolser, D., Kerhornou, A., Walts, B., Wu, G., D'eustachio, P., Haw, R., Croft, D., Kersey, P., Stein, L., Jaiswal, P., and Ware, D. 2013. *Gramene 2013*.

- Sulieman, S. A. 2010. The Influence of *Triticum aestivum* seeding rates and sowing patterns on the vegetative characteristics in Shambat soil under irrigation. *Res. J. Agri. and Biol. Sci.* 6 (2): 93-102.
- Tamm, Ü. 2003. The variation of agronomic characteristics of European malting barley varieties. *Agron. Res.* 1: 99-103.
- Torres T. M. A., V. M. Zamora V., M. Colín R., R. Foroughbakhch P. y M. Ngangyo H. 2019. Caracterización y agrupamiento de cebadas imberbes mediante sensores infrarrojos y rendimiento de forraje. *Rev. Mex. Cienc. Agric.*, 10(5):1125-1137.
- Weiner, J. 1980. The effects of plant density, species proportion and potassium-Phosphorus fertilization on interference between *Trifolium incarnatum* and *Lolium multiflorum* with limited nitrogen supply. *J. Ecol.* 68,969–979. doi: 10.2307/2259469.
- Weiner, J., and Freckleton, R.P. 2010. Constant final yield. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 41,173–192. doi:10.1146/annurev-ecolsys-102209-144642.
- Whaley, J. M., Sparkes, D. L., Foulkes, M. J., Spink, J. H., Semere, T., et al. 2000. The physiological response of winter wheat to reductions in plant density. *Ann. Appl. Biol.* 137 (2), 165–177. doi: 10.1111/j.1744-7348.2000.tb00048.x
- Wiersma, J.J. 200). Determining an optimum seeding rate for spring wheat in Northwest Minnesota. *Crop Management* 18,1-7.
- Zamora, D. M. et al. 2008. Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México*, 34(4), pp.478-489.
- Zohary, D., and Hopf, M. 1993. *Domestication of Plants in the Old World*. Oxford Science Publications.
- Zadoks J C, T T Chang, C F Konzak .1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Eucarpia Bulletin* 7:42-52.