

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comportamiento Productivo de la Variedad de Cebada Forrajera GABYAN95 bajo
Diferentes Densidades de Siembra en el Sur de Nuevo León, México

Por:

LIZBETH ANTONIO MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2022

Declaración de no plagio

Declaro que:

El trabajo de investigación fue realizado por mi Lizbeth Antonio Martínez y no se llevaron a cabo acciones que pueden interpretarse como plagio o robo de información de alguna tesis o trabajo de investigación, respetando así las citaciones de los autores originales para reproducir material en este documento ante cualquier contexto: textos, imágenes, cuadros, graficas, etc.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias que conlleva el plagio, declarando que este documento es de mi autoría.

ATENTAMENTE



Lizbeth Antonio Martínez

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comportamiento Productivo de la Variedad de Cebada Forrajera GABYAN95 bajo
Diferentes Densidades de Siembra en el Sur de Nuevo León, México.

Por:

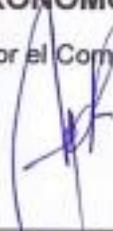
LIZBETH ANTONIO MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

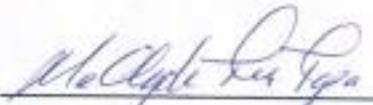
Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Modesto Colín Rico

Asesor Principal


Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

Coasesor


Dra. María Alejandra Torres Tapia

Coasesor


Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coordinador Interino de la División de Agronomía



Agradecimientos

Le agradezco en primer lugar a **Dios** y a la **Virgen de Guadalupe** por darme la fe, la paz, la fuerza y la salud para llegar hasta donde hoy estoy, por iluminar y bendecir cada paso que he caminado.

A mis motores y principales pilares en mi vida, que son mis padres; **Gelacio Antonio Martínez** y **Rosalía Martínez López** por creer en mí, por todo ese apoyo incondicional, la paciencia y siempre estar para mí.

A mis hermanos; Rosario, Diana, Sonia, Gilberto, pero especialmente a mi hermano **José Eduardo**, por ser mi guía y uno de mis mayores ejemplos.

A mis amistades que son familia; a mejores amigos Said y Aranza, a mis hermanos; Ivet, Adolfo, José Manuel, Liz, Mafer, Blanca y Viri; por confiar en mí, estar siempre apoyándome, motivándome y por hacer de este logro suyo también.

A mis amigos Octavio, Ali, Juan Pablo, María, Sandra, Carmen, Luis Rey, Lemus, Oseas, Miguel, Mariana, Danna, Oscar, Hugo, a mi team Jalisco; por siempre motivarme, por estar en todo este proceso y creer en mí.

Al MC. Modesto Colín Rico, por su apoyo y brindarme esa confianza; al permitirme trabajar en este proyecto tan importante que es fruto de su experiencia y trabajo de muchos años, por el aprendizaje.

A la Dra. María Alejandra Torres Tapia, por aprendizaje, tiempo y apoyo brindado.

Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa, por la experiencia que aportó a la investigación, sus valiosas sugerencias, la confianza y su tiempo invertido.

A mi Alma Mater, mi amada Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme formarme en sus aulas; por su calidez.

Por último, pero no menos importante me agradezco a mí; por ser constante, perseverante, fiel a mis sueños y metas.

Dedicatoria

“Tierra que fértil es, pasión por el campo desde raíces fuertes, aún más que las de un roble, amor a la tierra que me vio crecer, en la sangre el cariño por el agro se siente correr, estrellas miro en las manos alunadas de mis viejos cuando me sostienen cuando los necesito, manos que son mapas en la experiencia de tierras sembradas de vida, sembrando paz, amor, solidaridad, prosperidad con raíces firmes a nuestra tierra, campo que cosecha unión, fortaleza y motivación a través de sus frutos, frutos que se convierten en familia” –Lizbeth Antonio Martínez

Este trabajo se lo dedico de corazón a mi familia:

A mis padres Gelacio y Rosalía, por todo ese amor, paciencia, por ser incondicionales a mis sueños y metas creyendo en mí, por siempre estar apoyándome y motivándome a superarme.

A mis hermanos por todo su amor, ejemplo y confianza, haciendo este logro suyo también.

A mis amados abuelos Eufrasia Martínez González (+), Tarsicio Antonio Martínez (+) por siempre en vida y aun en ausencia física me enseñan que no hay límites para lograr los sueños, que la perseverancia es la base del éxito, nací de gente apasionada al campo, orgullosa de mis raíces, agradezco también a mi abuelo Marcelino Martínez López quien es parte fundamental en mi vida y desarrollo personal, como profesional, por su amor, cariño y enseñanzas al campo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen.....	4
2.2. Condiciones ecológicas y edáficas.....	4
2.4. Importancia económica de la cebada	6
2.5. Genética de la cebada.....	6
2.6. Descripción botánica.....	7
2.7. Variedades forrajeras en últimos los años	8
2.8. Descripción agronómica de la cebada	8
2.9. Macollamiento	9
2.10. Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y Temperatura dosel	9
2.11. Rendimiento de grano y forraje.....	11
2.12. Calidad forrajera	11
2.13. Densidad de siembra	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Localización y descripción del sitio experimental.....	14
3.2. Material genético evaluado	14
3.3. Metodología.....	14
3.3.1. Siembra de los tratamientos	15
3.3.2. Fertilización y riego	15
3.3.3. Tamaño de parcela	15
3.3.4. Muestreos	15
3.4. Variables evaluadas.....	15

3.4.1.	Altura de planta.....	15
3.4.2.	Índice de Vegetación Diferencial Normalizado.....	16
3.4.3.	Temperatura de dosel.....	16
3.4.4.	Forraje Verde	17
3.4.5.	Forraje Seco.....	17
3.4.6.	Etapa	17
3.4.7.	Tallos por metro cuadrado	17
3.4.8.	Longitud de Espiga.....	17
3.4.9.	Granos por Espiga	18
3.4.10.	Rendimiento de Grano.....	18
3.4.11.	Peso Mil Semillas	18
3.5.	Diseño experimental	18
3.6.	Análisis estadístico.....	18
3.7.	Correlaciones	19
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1.	Resultados de los análisis de varianza, pruebas de media por muestreo y medias combinadas	20
4.2.	Correlaciones entre las diferentes variables evaluadas.....	38
5.	CONCLUSIONES.....	42
6.	LITERATURA CITADA	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
2.1	Temperatura mínima, óptima y máxima para las diferentes etapas fenológicas de la cebada.....	5
4.1	Valores de cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para el primer muestreo.....	21
4.2	Resultados de la Prueba de Comparación de Medias (DMS) para el primer muestreo.....	22
4.3	Valores de cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para el segundo muestreo.....	24
4.4	Resultados de la Prueba de Comparación de Medias (DMS) para el segundo muestreo y características de grano o semilla.....	26
4.5	Valores de cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para el tercer muestreo.....	28
4.6	Resultados de la Prueba de Comparación de Medias (DMS) para el tercer muestreo y características de grano o semilla...	30
4.7	Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado sobre muestreos para las diferentes variables estudiadas.....	34
4.8	Resultados de las pruebas de comparación de medias (DMS) combinadas sobre muestreos.....	38
4.9	Correlaciones entre las diferentes variables para el primer muestreo.....	39
4.10	Correlaciones entre las diferentes variables para el segundo muestreo.....	40
4.11	Correlaciones entre las diferentes variables para el tercer muestreo, incluyendo las variables de grano en madurez de cosecha.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
3.1	Medición de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NVDI) mediante un sensor portátil.....	16
3.2	Toma de lectura de temperatura de dosel (TEMP) mediante un sensor infrarrojo portátil.....	17
3.3	Determinación de Peso de Mil Semillas (PMS) de manera manual.....	18

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de conocer la influencia de la densidad de siembra en el comportamiento productivo de la variedad de cebada forrajera imberbe GABYAN95 en el valle de Navidad, al sur del estado de Nuevo León, México; se utilizaron 12 densidades, desde 60 kg ha⁻¹ de semilla, incrementando cada 10 kg hasta 170 kg ha⁻¹.

Las variables que se consideraron en el experimento fueron: Altura de planta (ALT), Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI por sus siglas en inglés), Temperatura de dosel (TEMP), Forraje Verde (FV), Forraje Seco (FS), Etapa fenológica (ETAPA), evaluadas en tres muestreos de forraje realizados a los 75, 90 y 104 días después de la siembra, y en el tercero, se agregaron las variables; Tallos por metro cuadrado (TM2), Longitud de Espiga (LE), Granos por Espiga (GE) y Rendimiento de Grano (RG).

El experimento se realizó bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; para cada muestreo se realizaron sus respectivos análisis de varianza y pruebas de medias (Diferencia Mínima Significativa, DMS) tanto individuales como combinados, el análisis combinado de la información se realizó como parcelas divididas considerando los muestreos como parcela grande y las densidades como parcela chica. Además, se realizaron análisis de correlación para conocer el grado de asociación entre las variables evaluadas.

Los resultados de análisis de varianza mostraron significancia ($P \leq 0.05$) para densidades, en altura de planta ($P \leq 0.01$) para etapa fenológicas, mientras que las variables infrarrojas (temperatura y NDVI) lo mismo que las productivas, no exhibieron significancia. Lo anterior permite concluir que la densidad de siembra de 60 a 170 kg ha⁻¹ bajo las condiciones del estudio, no influye significativamente en el comportamiento de la nueva variedad; lo cual se percibe como ventaja desde un punto de vista económico reduciendo costos de producción utilizando las

densidades menores; las correlaciones entre variables tanto infrarrojo como agronómicas para el forraje fueron de diferentes índole y sentido de un muestreo a otro, incluso tendieron a disminuir o desaparecer en cambio para grano o semilla, hubo asociación entre altura de planta (Altura) y rendimiento de grano (RG), al igual que longitud de espiga (LE) y granos por espiga (GE).

Palabras clave: *Materia seca, Cebada GABYAN95, Densidades de siembra*

1. INTRODUCCIÓN

En México, la cebada además de ser el principal insumo en la industria cervecera tiene la alternativa de emplearse como forraje, para pastoreo, para ensilaje o para ser cosechado tanto en grano como en follaje verde (Newman y Newman, 2008; Zamora *et al.*, 2017).

Es el cuarto cultivo de cereal más importante en el mundo después del trigo, el maíz y el arroz; hasta el 85% de la cebada cosechada se utiliza para alimentar a los animales, incluyendo bovinos, porcinos y aves (Akar y Dusuneceli, 2004; Pérez-Ruiz *et al.*, 2016).

Se ha documentado que la cebada igual que otros cereales de invierno presenta altos rendimientos, son ricos en proteínas, vitaminas e hidratos de carbono (Cherney y Marten, 1982; Cash *et al.*, 2004) y en particular la cebada, no disminuye tanto su calidad forrajera en etapas posteriores a la anthesis, probablemente debido a la mayor cantidad de grano (Colín *et al.*, 2007, 2009).

La densidad óptima varía cada año, según el clima y el manejo del cultivo. Su cálculo es necesario porque está comprobado que una reducción del 30% de la densidad de población por debajo de la óptima reduce los rendimientos 5% en años buenos. Sin embargo, aumenta los rendimientos cuando se presentan factores desfavorables. Por eso, la recomendación es que las densidades estén de 20 a 30% por debajo de la densidad óptima. Pero, si hay sequías la densidad recomendada debe reducirse 30% más con respecto a la óptima con la intención de incrementar la cantidad de agua disponible para cada planta (ASGROW, 2019).

El aumentar las densidades de siembra, de alguna manera aumenta la competencia de nutrientes entre el cultivo y las malas hierbas, disminuyendo el daño que estas causan en los rendimientos. Naturalmente las altas densidades predisponen a las plantas al acame, cuando el propósito es producir forraje, no es un problema grave

(Ramírez-Ordoñez *et al.*, 2013), pero para el grano si lo es. Rivera et al. (1997) reportaron una baja en el rendimiento al incrementar la densidad de siembra en cebada, lo cual puede ser influenciado por el exceso de crecimiento con tallos débiles que generalmente provoca acame del cultivo por menor disponibilidad de luz solar, esto afecta la calidad de la semilla y el rendimiento.

Para mantener o incrementar la producción de forraje de cebada, se requiere seleccionar nuevos genotipos, métodos de producción eficaces, sostenibles y que se adapten a los cambios climáticos (Nelson *et al.*, 2009), además se deben considerar características deseables para el productor en sistemas intensivos como: precocidad, altura de planta y alto rendimiento de forraje seco.

Objetivo General

- Evaluar el comportamiento productivo en cuanto a forraje y grano o semilla de la variedad de cebada GABYAN95 bajo diferentes densidades de siembra en el valle de Navidad, N.L., México.

Objetivos Específicos

- Evaluar la influencia de la densidad de siembra en el rendimiento de forraje y grano de la cebada GABYAN95.
- Explorar el efecto de la densidad sobre algunas características físicas de la semilla de forma preliminar.
- Determinar si la densidad de siembra influye en la expresión de las variables infrarrojo, Temperatura de dosel e Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (TEMP y NDVI).
- Seleccionar de forma preliminar la o las densidades más adecuadas para recomendación a productores de la región.
- Establecer asociaciones entre las diferentes variables estudiadas mediante el análisis de correlación.

Hipótesis

La densidad de siembra influye positivamente en el comportamiento productivo de la variedad GABYAN95.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) fue una de las primeras especies domesticadas, originaria del suroeste de Asia y África. En la antigüedad, la clasificaron en dos tipos, por un lado, estaba la dística o galática de dos carreras y por otro la cebada hexástica o caballuda de seis carreras (Bothmer *et al.*, 2003).

El cultivo de la cebada pertenece al género *Hordeum* que comprende cerca de 25 especies. Se encuentra tanto especies diploides como tetraploides, a diferencia del trigo y de la avena las cebadas cultivadas son especies diploides. Las cebadas cultivadas se clasifican en cebadas de dos carreras (*Hordeum vulgare distichum*) y cebadas de seis carreras (*Hordeum vulgare hexastichum*).

La cebada tipo dística de dos carreras, fue la primera en ser descrita, posiblemente por proceder de una especie similar a la actual *Hordeum vulgare*, subespecie *spontaneum*; mientras las cebadas de cuatro y seis carreras actuales, ha sido el resultado de mutaciones ocurridas en la naturaleza. En ambas se insertan en el mismo punto, sobre cada articulación del raquis, tres espiguillas, siendo fértil sólo la central y estériles las laterales en la cebada de dos carreras, y las tres fértiles en la cebada de seis carreras, en la que los granos laterales son ligeramente disimétricos (Bothmer *et al.*, 2003).

2.2. Condiciones ecológicas y edáficas

El cultivo de la cebada se puede desarrollar en regiones que presentan un rango de temperatura entre 3 y 30°C, siendo la óptima de 20°C, la altitud oscila entre 400 y 3500 msnm, prospera en regiones secas y cuando se cultiva en regiones húmedas se debe tener cuidado con la incidencia de algunos fitopatógenos, se ha observado que este cultivo se adapta a muy diversos tipos de climas y suelos, de ahí su distribución mundial.

Es tolerante a la alcalinidad en comparación al trigo y la avena, prosperando mejor en suelos tipo arenosos. Los mejores rendimientos de grano se obtienen en suelos tipo migajón con buen drenaje, profundos y pH de 6.0 a 8.5 (Bellido, 1991)

En el Cuadro 2.1 se muestran los principales parámetros de requerimiento de temperatura para el cultivo de la cebada, durante todo su ciclo fenológico.

Cuadro 2.1 Temperatura mínima, óptima y máxima para las diferentes etapas fenológicas de la cebada

Etapas fenológicas	Mínima (°C)	Temperatura Óptima (°C)	Máxima (°C)
Germinación	1	20	20
Crecimiento	1	20	28
Floración	5	16-17	30
Llenado de grano	7	20	30

Iglesias y Taha (2010)

2.3. Taxonomía

Méndez (2004) cita la siguiente clasificación taxonómica para la cebada.

Reino: *Vegetal*

Subdivisión: *Pteropsidae*

División: *Tracheophyta*

Clase: *Angiospermae*

Subclase: *Monocotiledonea*

Grupo: *Glumiflora*

Orden: *Poales o Graminales*

Familia: *Gramineae o Poaceae*

Género: *Hordeum*

Especie: *Hordeum vulgare*

2.4. Importancia económica de la cebada

En México, según el informe de actividades del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera del año 2016, nos data, que se cuenta con una superficie nacional de 109.3 millones de hectáreas de producción, de los cuales, sólo 4 de cada 10 ha se destinan a la producción de alimentos. Del total de la producción agrícola en 2014, el 73% se comercializó, el 23% se utilizó en el autoconsumo de los componentes humano o animal y el 4% restante se perdió durante la cosecha, el transporte o en el almacenamiento. La oferta de producción de cebada en promedio del 2014 al 2016 fue de 1,447.70 t (SIAP, 2016)

Años atrás, la cebada fue utilizada como alimento humano, pero a medida que el trigo fue ganando importancia, la cebada pasó a transformarse en material para la fabricación de cerveza y como forraje para los animales (Newman y Newman 2008), lo que promovió investigaciones para estudiar sus atributos, por presentar un rápido desarrollo del cultivo, producir forraje y/o grano en relativamente menor tiempo y costo en comparación con otros cereales, dando lugar a la generación de nuevos genotipos mejorados que ofrecen buena calidad forrajera (Colín *et al.*, 2007) e industrial (Callejo, 2002; Serna Saldívar, 2001).

2.5. Genética de la cebada

Robles (1990), menciona que el género *Hordeum* comprende cerca de 25 especies. Se encuentran tanto especies diploides como tetraploides. A diferencia del trigo y de la avena, las cebadas cultivadas son especies diploides.

Especies diploides ($2n = 14$)

Especies cultivadas. *Hordeum vulgare*, *H. distichum*, *H. irregulare*.

Especies silvestres. *H. spontaneum*, *H. agriocrithon*, *H. pucillum*.

Especies tetraploides ($4n = 28$)

Especies silvestres. *H. murinum*, *H. bulbosum*, *H. jubatum*, *H. nodosum*.

2.6. Descripción botánica

Las cebadas más comunes cultivadas en México pertenecen a la especie *Vulgare*; grupo de las seis carreras con tres florecillas fértiles en cada uno de los nudos del raquis.

Existen variedades de primavera e invierno. Las primeras tienen un ciclo corto de 80 a 90 días, se siembran a fines de invierno o a principios de primavera, usadas principalmente para la producción de grano. Las variedades de invierno poseen un ciclo hasta de 160 días utilizadas principalmente para la producción de forraje.

La cebada es una planta anual, que puede llegar a medir en promedio hasta 120 cm, con dos sistemas de raíces, seminales y adventicias cubiertas de pelos absorbentes, de profundidad dependiendo de la condición, textura y estructura del suelo, así como de la temperatura (Box, 2008).

El sistema radicular de la cebada es fasciculado, fibroso y alcanza poca profundidad en comparación con el de otros cereales.

El tallo tiene una estructura cilíndrica con entrenudos huecos separados por articulaciones transversales con septos, contiene una corona principal con potencial de producir macollos secundarios. Los tallos llegan a medir en promedio de 20 cm en las variedades cortas bajo condiciones de sequía y 154 cm en variedades altas en condiciones de buen manejo (Zúñiga, 1987).

Las hojas son lineales 5-15 mm de ancho, ubicadas alternadamente en el tallo, su estructura es de envoltura, lámina, aurículas y lígula. La vaina rodea completamente el tallo. La lígula y aurículas distinguen la cebada de otros cereales y son muy útiles para la identificación ya que son lisas, envuelven al tallo y pueden ser pigmentados con antocianinas. Los cultivares de primavera se caracterizan por presentar hojas lisas; por otra parte, los cultivares de invierno presentan hojas rizadas y angostas (Méndez, 2004).

Inflorescencia: las inflorescencias corresponden a espigas, las cuales se caracterizan por ser compactadas y generalmente barbadas. La espiga es una extensión de tallo, tiene un raquis en forma de zigzag de 2.5 a 12.7 cm de longitud

el cual cuenta con 10 a 30 nudos. La espiga está conformada por estructuras llamadas espiguillas, cada una integrada por el grano y dos glumas con barbas de longitud variable, lisas o aserradas, las espiguillas son alternas y estas adheridas al raquis.

Las variedades de 6 hileras (*Hordeum vulgare*) tienen de 25 a 60 granos por espiga mientras que las de 2 hileras (*Hordeum distichum*) tienen de 15 a 30 (Warren y Martín, 1970).

Grano: el grano de la cebada es un fruto denominado cariósido, en el cual las paredes del ovario (pericarpio) y cubierta seminal (testa), están estrechamente unidas, siendo generalmente inseparables; el fruto, por lo tanto, indehiscente. El grano está compuesto por pericarpio y embrión, el cual está localizado en la parte dorsal del mismo, su color crema, blanco, negro, rojo o azul; los últimos colores son el resultado de pigmentos de antocianina (Warren y Martín, 1970).

2.7. Variedades forrajeras en últimos los años

El Catálogo Nacional de Variedades Vegetales en su informe de 2018 da a conocer 20 nuevas variedades de cebada; ADABELLA, ALICIAN221, ALINA, ARMIDA, BRENNUS, CAPUCHONA, CENTINELA, CERRO PRIETO, CUCAPAH87, DOÑA JOSEFA M08, ESMERALDA, ESPERANZA, EXPLORER, GABYAN95, GABYOTA, GUANAJUATO, MARAVILLA, NEZTLI, PRUNELLA, TRAVELER, de las cuales destacan como cebadas forrajeras GABYAN95 y ALICIAN221 liberadas por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

2.8. Descripción agronómica de la cebada

Diferentes factores característicos de la planta como son: a) altura de la planta, parte por la disponibilidad de nitrógeno; b) características de la hoja, donde el ángulo y posición de la hoja están estrechamente correlacionados con el contenido de nitrógeno; c) capacidad de amacollamiento, tanto por el espacio entre los tallos y el número de ellos, que pueden estar juntos (tipo cerrado) o dispersos (tipo abierto); d) espiga, la relación paja-grano (índice de cosecha); e) la selección de variedades para alto rendimiento.

Sin embargo, los factores más influyentes para el rendimiento en cebada y otros cereales son los niveles de nitrógeno, espaciamiento entre plantas, medio ambiente y en cierto grado de diferencia varietal (Ferraris y Couretot, 2006; Flores *et al.*, 2014), que, en condiciones normales de crecimiento, produce alto rendimiento, buen peso y un producto forrajero (Poehlman, 1981).

2.9. Macollamiento

Los macollos o tallos secundarios aparecen de las yemas axilares del primer tallo. De acuerdo a Briggs; Reid y Wiebe citados por Rasmusson (1985) el número de macollos por planta es influenciado por la densidad y la genética del cultivar, así como también factores ambientales. Por lo general una planta desarrolla entre uno y seis tallos sin embargo dentro de lugares favorables muchas veces se presentan ocho (Briggs *et al.*, 2004).

Dependiendo de la densidad de siembra y disponibilidad de agua como de nutrientes, el macollo presenta especial relevancia ya que el número y vigor de estos determinará en porcentaje significativo el número de espigas verdaderas que sobrevivirán por metro cuadrado, un componente de rendimiento señala Arellano (2010).

2.10. Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y Temperatura dosel

El NDVI ha sido usado en numerosos estudios para estimar la vegetación, biomasa, producción primaria, especies dominantes e índice de área foliar en varios tipos de modelos locales, regionales y globales. Las imágenes de NDVI derivado del Radiómetro Avanzado de muy alta Resolución de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA-AVHRR) proporcionan oportunidades para análisis de series de tiempo entre los cambios en el uso y cobertura de la vegetación a escala global (Maskova *et al.*, 2008).

El NDVI se calcula a partir de las mediciones de la reflectancia en el rango de la luz roja e infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) del espectro:

$$NDVI = \frac{RNIR - RRed}{RNIR + RRed}$$

Donde:

RNIR= Reflectancia de la radiación NIR y RRed= Reflectancia de la radiación del rojo visible.

El NDVI ha sido utilizado para predecir rendimiento de grano en soya, trigo duro, trigo de invierno y cebada, en experimentos a través de múltiples lugares, el NDVI fue capaz de explicar el 50-65 % de las variaciones del rendimiento.

El NDVI permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial, así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas.

La interpretación del índice debe asimismo considerar los ciclos fenológicos y de desarrollo anuales para distinguir oscilaciones naturales de la vegetación de los cambios en la distribución temporal y espacial causados por otros factores (Gilabert *et al.*, 1997)

Houspanossian *et al.* (1990), explica que la temperatura del dosel de una planta es resultado de un complejo equilibrio en el que están involucrados una serie factores físicos, fisiológicos y climáticos, que la alteran y modifican de diferente manera y proporción. Entre ellos se encuentran, la radiación incidente, el grado de cobertura de la vegetación, la evapotranspiración, el tipo de superficie (propiedades térmicas, rugosidad), las propiedades conductoras de la atmósfera, mecanismos fisiológicos de la planta y la humedad del suelo.

Solís y Díaz (2001), indicaron que la temperatura afecta el desarrollo de las plantas a través de su influencia sobre la velocidad de los procesos metabólicos. Temperaturas bajas retardan el desarrollo, mientras que temperaturas altas (hasta un cierto límite) lo aceleran y acortan el ciclo de las plantas. Van Keulen y Seligman citados por Solís y Díaz (2001) señalaron que, durante el periodo de llenado de grano, altas temperaturas aceleran la senescencia de la hoja, lo cual reduce la duración del periodo de llenado de grano.

2.11. Rendimiento de grano y forraje

El rendimiento de grano ha sido descrito como el volumen de un paralelepípedo, en el cual, el número de espigas por unidad de superficie, el número de granos por espiga y el peso de granos, constituyen las aristas. Un incremento en cualquiera de los tres componentes determinara un aumento del rendimiento, siempre y cuando no haya una disminución correspondiente en los otros dos (Ataei, 2006).

La productividad de un cultivo está determinada por su potencial genético y el impacto del ambiente sobre su capacidad de crecimiento y partición de materia seca hacia destinos reproductivos, por otro lado, los cambios en la fecha de siembra del cultivo modifican la respuesta del rendimiento en grano (Maqueira *et al.*, 2009).

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa (materia fresca y seca) en los órganos que se destinan a la cosecha e incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. Así, la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel específico y fundamental en la producción de un cultivo.

2.12. Calidad forrajera

La calidad del forraje ha sido estimada de plantas con atributos como proporción de hojas con respecto a tallos y estados de madurez de la planta (Lucas, 1963).

Diversos trabajos confirman que las distintas especies de cereales de grano pequeño son un recurso forrajero de buena calidad principalmente por ser plantas de rápido crecimiento, lo que los hace más eficientes en áreas de temporal y responden con facilidad a estímulos de riego (Hart *et al.*, 1971 Juskiw *et al.*, 2000).

La calidad de forraje se define como la suma de los contribuyentes de la planta que influyen sobre un alimento de uso animal (Cherney *et al.* Marvin, 1982). De acuerdo con su calidad, todo el valor alimenticio potencial de un forraje es influenciado por la forma en la cual este es ofrecido (ejemplo el tamaño de la partícula), la palatabilidad del forraje y por la calidad de otros alimentos en la ración (efectos asociados con el alimento).

Las cebadas forrajeras son variedades específicamente desarrolladas para forraje utilizado en la alimentación del ganado.

Las cebadas forrajeras proveen también más energía por tonelada de materia seca de toda la planta lo que las hace de mayor calidad y una fuente forrajera más costeable que las convencionales (Forage Barleys for Manitoba, 2006). Poehlman (1981), menciona que las cebadas que se utilizan para alimentación del ganado deben ser de alta productividad, por lo que se busca:

- Elevado ahijamiento
- Elevado número de granos por espiga
- Alto peso hectolítrico
- Resistencia al acame
- Resistencia al desgrane
- Resistencia a enfermedades
- Elevado contenido de proteínas

2.13. Densidad de siembra

La cantidad de semilla que se suele emplear es muy variable, es frecuente que la cantidad empleada oscile entre 120 y 160 Kg ha⁻¹ (Guerrero, 1992). La siembra a chorrillo con sembradora es el método más recomendable, pues hay un mayor ahorro de semilla, las poblaciones de plantas son más uniformes y hay una menor incidencia sectorial de enfermedades.

La densidad de siembra en el caso de obtención de cebada para grano se recomienda de 90 a 120 Kg por hectárea (Robles, 1990).

Escalante *et al.* (2008) evaluaron el efecto de cuatro densidades de siembra (75.000, 100.000, 125.000 y 150.000 plantas/ha.) en el rendimiento de forraje para consumo de ganado, encontrado que no hubo diferencias significativas. Araya y Boschini (2005) en *Pennisetum purpurem*, encontraron que la relación hoja-tallo (RHT) siempre fue menor que uno, en las variedades Taiwán (0.65), King Grass

(0.62), Gigante (0.54), Camerún (0.65) a excepción del genotipo Elefante Enano (1.73). Concluyendo así que la densidad de siembra más alta afecto negativamente a la biomasa por planta, pero positivamente la biomasa por hectárea.

La densidad de siembra afecta negativamente el peso fresco individual de cada planta y positivamente la producción de forraje total por unidad de área. Al ampliar el tiempo de corte de 3 a 5 meses, aumentó la cantidad de forraje de 20 a 23% y disminuyó el contenido de proteína cruda de 18 a 13% (Ventura y Pulgar, 1990).

Las densidades de siembra no tienen efecto en el contenido nutricional del forraje producido, más bien está determinado por la frecuencia de corte y por la fertilización del cultivo (Ventura y Pulgar, 1990).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y descripción del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) Ing. Humberto Treviño Siller, que cuenta con 100 ha de tierras agrícolas de riego, esta unidad experimental se encuentra en la Colonia Agrícola Navidad, perteneciente al municipio de Galeana, N.L., a 84 km de la ciudad de Saltillo, Coahuila., por la carretera 57 (Saltillo-San Roberto). Se localiza entre las coordenadas geográficas 25° 04" de latitud norte y 100° 37" de longitud oeste; y a una altitud de 1895 msnm, su topografía es casi plana, el suelo es ligero y clasificado como migajón de buena profundidad, mediantemente salino y de reacción ligeramente alcalina con pH de 7.5 a 7.6 con pobre contenido de nitrógeno, mediante rico en fósforo y extremadamente rico en potasio intercambiable, con una temperatura media anual es de 14.6 °C y precipitación media anual es de 492 mm (UAAAN, 2011).

3.2. Material genético evaluado

Semilla de cebada forrajera variedad GABYAN95

3.3. Metodología

Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en las labores tradicionales utilizadas para el establecimiento de cereales de grano pequeño en las regiones donde se siembra bajo condiciones de riego, como son el barbecho a una profundidad de 20-30 cm, rastreo y nivelación.

3.3.1. Siembra de los tratamientos

La siembra se realizó manualmente el 23 de febrero de 2021, aun como parte del ciclo O-I 2020-2021, el 27 de febrero se aplicó el riego de siembra. Se evaluaron doce densidades siembra (60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170 Kg ha⁻¹ de semilla).

3.3.2. Fertilización y riego

La dosis de fertilización total fue de 140-93-00; de la cual a la siembra se aplicó todo el fósforo, en tanto que el nitrógeno fue fraccionado en; 56 unidades a la siembra, 44 y 40 unidades más al 1° y 2° riego de auxilio respectivamente, mediante fosfato monoamónico (MAP) y sulfato de amonio; se dieron cinco riegos durante el ciclo del cultivo, con una lámina total aproximada de 40 cm.

3.3.3. Tamaño de parcela

La parcela experimental total consistió de 10 hileras de 3m de longitud separadas entre sí a 0.3 m obteniendo un tamaño de parcela de 9.0m². La parcela útil para las variables de producción de forraje fue medio metro lineal de una hilera con competencia completa; es decir 0.15m². mientras que para rendimiento de grano se cortó una hilera también con competencia (0.9m²).

3.3.4. Muestreos

Se efectuaron tres muestreos de forraje, realizados a los 75, 90 y 104 días después del riego de siembra (tiempos aproximados en los que se suele aprovechar el forraje de los cereales de invierno). En tanto que la cosecha de grano o semilla se realizó a los 130 días después del mismo riego.

3.4. Variables evaluadas

3.4.1. Altura de planta (ALT): Se midió y registró en centímetros desde la superficie del suelo hasta el extremo superior más generalizado del forraje para el primer muestreo, o de las espigas en el segundo y tercer muestreos, utilizando una regla graduada para tal propósito.

3.4.2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI por sus siglas en inglés): Se tomó con la ayuda de un sensor portátil marca Green Seeker TM, el cual tiene su propia luz infrarroja dirigiendo la parte central de la parcela como se muestra en la Figura 3.1, obteniendo diferentes cantidades de luz reflejada, y expresada una lectura desde 0.00 a 0.99 en las configuraciones electrónicas.



Figura 3.1 Medición de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) mediante un sensor infrarrojo portátil

3.4.3. Temperatura de dosel (TEMP): Se tomó mediante el uso del termómetro infrarrojo IP-54, marca Fluke con mira laser y precisión de $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$. Este aparato puede medir temperatura desde -30° a 500°C con óptica para obtener la temperatura total de un conjunto de plantas.



Figura 3.2. Toma de lectura de Temperatura de dosel (TEMP) mediante un sensor infrarrojo portátil

- 3.4.4.** Forraje Verde (FV): En una de las hileras con competencia completa, se cortaron 0.50 m (0.15 m²) de material vegetativo a la altura aproximada de 5cm sobre la superficie suelo, se pesó en una báscula digital registrándose el peso en gramos, para luego convertirlo a t ha⁻¹
- 3.4.5.** Forraje Seco (FS): Las mismas muestras de forraje verde se expusieron a secado en un asoleadero techado hasta peso constante, se registró en gramos por parcela y posteriormente se convirtió su valor a t ha⁻¹.
- 3.4.6.** Etapa (TEMP): Se realizó una estimación del estadio en que se encontraba el 50% o más de las plantas en cada parcela con base en la escala de Zadoks *et al.* (1974)
- 3.4.7.** Tallos por metro cuadrado (TM²): al momento del tercer muestreo, se contó el número de tallos existente en 0.5m de una hilera (0.15 m²) con competencia completa convirtiendo posteriormente el valor a tallos por metro cuadrado.
- 3.4.8.** Longitud de Espiga (LE): Se tomaron 10 espigas al azar de cada parcela experimental, se midieron en centímetros y se obtuvo el promedio.

- 3.4.9.** Granos por Espiga (GE): Se contaron los granos de 10 espigas tomadas al azar obteniendo igualmente el valor promedio.
- 3.4.10.** Rendimiento de Grano (RG): Se cosechó el grano de una hilera con competencia completa (0.9 m²) expresado en gramos por parcela y convertido a t ha⁻¹
- 3.4.11.** Peso Mil Semillas (PMS): 200 semillas tomadas al azar de cada parcela, fueron pesadas en balanza analítica y por multiplicación se obtuvo el peso de 1000 semillas (Figura 3.3).



Figura 3.3 Determinación de Peso de Mil Semillas (PMS), de manera manual

3.5. Diseño experimental

El experimento se estableció bajo el diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones por cada tratamiento.

3.6. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos de la producción de grano y componentes del rendimiento, así como los muestreos de forraje se realizaron mediante el análisis de varianza (ANOVA) del diseño utilizado (DBCA), con la prueba de medias: Diferencia Mínima Significativa (DMS) para un nivel de significancia de 5%, utilizando el programa Statistical Analysis System, (SAS, 1989). El análisis conjunto de la información de forraje seco y verde se realizó como parcelas divididas, considerando los muestreos

como parcela grande y las densidades de siembra como parcela chica, usando de nuevo la DMS al 0.05 de confianza para comparar las medias.

3.7. Correlaciones

El análisis de correlación se realiza para medir el grado de asociación entre dos variables dependientes una de otra. La correlación es un indicador estadístico definido por el coeficiente de correlación r y es medido en una escala que varía entre -1 y +1, indica una correlación perfecta y directa; en cambio el valor de -1, significa que existe una correlación perfecta e inversa. El valor de $r=0$, significa ausencia de correlación entre las variables, lo cual es un indicador de que las variables son independientes entre sí. El análisis de correlación puede aplicarse cuando se disponen variables continuas o discretas de muchos valores donde se requiere saber si están asociados o no (Pedraza y Dicovskyi, 2007).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez analizados los datos del estudio, se mencionan a continuación los resultados e interpretaciones de las variables estudiadas.

4.1. Resultados de los análisis de varianza, pruebas de media por muestreo y medias combinadas

Primer muestreo

En el Cuadro 4.1 se muestran los resultados de los cuadrados medios del análisis de varianza del primer muestreo realizado a los 75 días después de la siembra (dds); donde se observa que para la fuente de variación repeticiones (REP) existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para las variables, altura de planta (ALT) y ETAPA; se considera que el diseño fue eficaz, ya que permitió observar las diferencias entre las repeticiones para estas variables y así minimizar el efecto del error experimental. El resto de las variables no mostraron diferencias significativas (NS),

Para la fuente de variación densidades (DENS), en el primer muestreo solamente ETAPA presentó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$); mientras que altura de planta (ALT) exhibió significancia ($P \leq 0.05$). A lo que Kabesh *et al.* (2009), mencionan que la densidad y el método de siembra son importantes porque determinan el establecimiento apropiado del cultivo, la competencia entre plantas y la conversión de energía solar en productos cosechables. El resto de las variables no mostraron diferencias estadísticas. Una buena densidad de siembra es un requisito imprescindible para obtener una buena cosecha (Meza, 2005).

En general los Coeficientes de Variación (CV) se mantuvieron dentro de un rango aceptable, oscilaron entre 5.3 y 26.0%, para temperatura (TEMP) y forraje verde (FV) respectivamente.

4.1. Valores de cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para el primer muestreo

Fuente de variación	gL	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
REP	2	296.528*	0.004 ^{NS}	0.226 ^{NS}	10.287 ^{NS}	0.799 ^{NS}	12.111*
DENS	11	149.179*	0.002 ^{NS}	1.575 ^{NS}	30.78 ^{NS}	1.071 ^{NS}	8.929**
EExp.	22	63.952	0.001	1.323	59.916	1	2.657
CV (%)		11.68	5.4	5.3	26.02	21.97	2.99

*,** y NS, significancia ($P \leq 0.05$), alta significancia ($P \leq 0.01$) y no significancia respectivamente; gL: grados de Libertad; REP: Repeticiones; DENS: Densidades; EExp: Error Experimental; CV: Porcentaje del Coeficiente de Variación; ALT: altura de planta; NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco.

En base a la significancia estadística encontrada en los análisis de varianza respectivos de las variables (Cuadro 4.1), se realizó la prueba de comparación de medias (DMS al 0.05 %) con los resultados que se presentan en el Cuadro 4.2 y se describen enseguida.

Al realizar la prueba de comparación de medias (DMS al 0.05%) para ALT, ésta reportó 3 grupos de significancia, dentro de los cuales destacan numéricamente las densidades 110, 150, 120, Kg ha⁻¹ con los valores más altos de 80, 75 y 73.33 cm respectivamente, aunque estadísticamente iguales a las densidades de 80, 100, 130, 140, 160 y 170 Kg ha⁻¹; en tanto que las densidades con menor altura de planta fueron 60, 70 y 90 Kg ha⁻¹ con valores oscilando entre 51.66 y 63.33 cm, como se muestra en el Cuadro 4.2; se logra detectar claramente el crecimiento de la planta al transcurrir los días, esto se debe al aprovechamiento de nutrientes, los procesos de asimilación de carbono evapotranspiración de agua y las condiciones ambientales donde crece y se desarrolla la planta, se favoreció durante ese tiempo (Medrano *et al.*, 2007).

Así mismo, la prueba de comparación de medias para NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizado) formó dos grupos de significancia (Cuadro 4.2), donde sobresalen numéricamente las densidades de siembra 110 y 120 Kg ha⁻¹ con los valores 0.75 y 0.73, aunque estadísticamente iguales a siete densidades más. En contraste con los valores menores de NDVI resultaron las densidades 150, 70, 170

Kg ha⁻¹ con valores de 0.67, 0.68 y 0.68 respectivamente y estadísticamente iguales a siete densidades más. Estos resultados posiblemente se debieron a la afectación de las características anatómicas por factores como la humedad del suelo, la cantidad disponible de nutrientes y la etapa foliar en la que se encuentra la planta como lo afirma Ma *et al.* (2001).

Cuadro 4.2 Resultados de la Prueba de Comparación de Medias (DMS) para las diferentes variables estudiadas en el primer muestreo

Densidades (kg ha ⁻¹)	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
60	63.33 BC	0.69 AB	22.26 AB	25.95 A	4.75A	52.33 B
70	51.66 C	0.68 B	21.90 AB	26.08 A	4.44 A	51.66 B
80	68.33 AB	0.71 AB	21.90 AB	27.86 A	5.42 A	54.33 AB
90	63.33 BC	0.69 AB	21.30 B	33.66 A	5.55 A	52.33 B
100	68.33 AB	0.71 AB	21.40 AB	29.61 A	5.59 A	54.33 AB
110	80 A	0.73 AB	21.06 B	35.22 A	6.48 A	54.33 BA
120	73.33 AB	0.75 A	20.43 B	31.35 A	6.19 A	54.33 AB
130	68.33 AB	0.70 AB	21.40 AB	32.68 A	5.99 A	54.33 AB
140	70.00 AB	0.69 AB	23.26 A	29.30 A	5.42 A	57.00 A
150	75.00 AB	0.67 B	22.06 AB	26.95 A	5.33 A	55.66 A
160	71.66 AB	0.71 AB	21.16 B	31.99 A	6.15 A	57.00 A
170	68.33 AB	0.68 B	22.10 AB	26.28A	5.19 A	55.66 A
Media	68.72	0.70	21.68	29.74	5.54	54.44
DMS	13.54	0.06	1.94	13.10	2.06	2.75

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05% de probabilidad); ALT: altura de planta; NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco.

La prueba de comparación de medias para temperatura (TEMP); formo dos grupos de significancia estadística (Cuadro 4.2); dentro de los que destacan numéricamente las densidades 140, 60 y 170 Kg ha⁻¹ con las temperaturas 23.26, 22,26 y 22.10 °C, mismas que resultaron estadísticamente similares a la temperatura que se obtuvo en otras cinco densidades de siembra.

Las densidades con temperaturas menores fueron 120, 110 y 160 Kg ha⁻¹ con los valores de 20.43, 21.06 y 21.16°C, iguales estadísticamente a las ocho densidades que conformaron el segundo grupo de significancia, valores que están dentro de un

rango aceptable y conveniente; ya que a temperatura elevada también afecta negativamente el macollaje al acelerar el ciclo del cultivo; por otro lado, se forman espigas más chicas al acortarse el período de macollaje (Briggs *et al.*,2004).

Para la variable forraje verde (FV); se formó un grupo, en el cual destacan numéricamente las densidades 110, 90 y 130 Kg ha⁻¹ con rendimientos de 35.22, 33.66 y 32.68 t ha⁻¹, en tanto que las densidades que menos forraje verde rindieron fueron 60, 70 y 170 Kg ha⁻¹; con 25.95, 26.08 y 26.28 t ha⁻¹ (Cuadro 4.2).

Similarmente en la variable forraje seco (FS); se formó un grupo estadístico, en el cual nuevamente la densidad 110 Kg ha⁻¹ se ubicó numéricamente en primer lugar seguida por las de 120 y 160 Kg ha⁻¹ con producciones de 6.48, 6.19 y 6.15 t ha⁻¹ respectivamente, mientras que las densidades con valores menores para esta importante variable fueron 70, 60 y 170 Kg ha⁻¹ con valores de 4.44, 4.75 y 5.19 t ha⁻¹, como se observa en el mismo Cuadro 4.2.

Los resultados mencionados coinciden con González (2007) y Adán (2019) con valores dentro del rango en cereales de grano pequeño.

Para la variable etapa fenológica (ETAPA); se formaron también dos grupos de significancia entre los que numéricamente destacan con mayor precocidad de la variedad las densidades 140, 160, 150 y 170 Kg ha⁻¹ con los valores 57.00 (tres cuartos de la espiga emergida) para las primeras dos y 55.66 para las otras dos densidades, junto a otras siete densidades que conformaron el grupo A de significancia, entre las menores o más tardías están 70, 60 y 90 Kg ha⁻¹ con los valores 51.66 y 52.33 (primera espiguilla de la espiga visible) para las otras dos densidades, junto con otros cinco promedios que conformaron el segundo grupo de significancia (Cuadro 4.2).

Segundo muestreo

En el Cuadro 4.3 se muestran los resultados de los cuadrados medios del análisis de varianza del segundo muestreo realizado a los 90 dds; donde se observa que

para la fuente de variación repeticiones (REP) no existieron diferencias significativas en las variables evaluadas.

Por lo tanto, podemos interpretarlo como que estas variables no son afectadas por las repeticiones y se obtiene un comportamiento promedio similar, es decir, las repeticiones no afectan su expresión.

Entre las densidades (DENS), solamente la variable etapa fenológica (ETAPA) mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y el resto de variables se comportó de forma similar.

En cuanto a los coeficientes de variación (CV) se encuentran entre 2.14% y 18.24%, para etapa fenológica (ETAPA) y forraje seco (FS) respectivamente por lo que todos se ubican dentro de una magnitud aceptable.

Cuadro 4.3. Valores de cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para el segundo muestreo

Fuente de Variación	gL	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
REP	2	77.083 ^{NS}	0.00014 ^{NS}	0.201 ^{NS}	19.655 ^{NS}	2.009 ^{NS}	6.333 ^{NS}
DENS	11	18.371 ^{NS}	0.00312 ^{NS}	0.3056 ^{NS}	77.014 ^{NS}	4.979 ^{NS}	5.788*
EExp	22	25.586	0.002	0.401	57.452	3.895	2.394
CV (%)		4.99	6.93	2.47	16.49	18.24	2.14

*, ** y NS, significancia ($P \leq 0.05$), alta significancia ($P \leq 0.01$) y no significancia respectivamente; gL: grados de Libertad; REP: Repeticiones; DENS: Densidades; EExp: Error Experimental; CV: Porcentaje del Coeficiente de Variación; ALT: altura de planta; NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco.

Aunque en la mayoría de las variables, el análisis de varianza no detectó diferencias estadísticas significativas (Cuadro 4.3), se realizó la prueba de comparación de medias (DMS al 0.05 %) con el propósito de separar dichas medias y facilitar con ello su comprensión e interpretación; con los resultados que se presentan en el (Cuadro 4.4) y se describen enseguida.

Al realizar la prueba de comparación de medias (DMS al 0.05%) para altura de planta (ALT), ésta reportó un grupo de significancia, dentro del cual destacan numéricamente las densidades 100 y 120 Kg ha⁻¹ con la mayor altura (105.00 cm) en contraste, la densidad más alta (170 Kg ha⁻¹) registró el porte de planta más bajo con 96.66 cm.

Así mismo, la prueba de comparación de medias para NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizado), formó dos grupos de significancia (Cuadro 4.4), donde sobresalen numéricamente las densidades de siembra 130, 70 y 160 Kg ha⁻¹ que provocaron el mayor valor con 0.70 para la primera y 0.69 para las dos últimas densidades mencionadas, en contraste con los valores menores de NDVI resaltan las densidades 120, 140 y 60 Kg ha⁻¹ con un valor de 0.61 para las dos primeras y 0.62 para la otra respectivamente.

En lo que se refiere al resultado para NDVI (Adán, 2019) reporta valores estadísticamente más altos para cereales de grano pequeño en los cuales destaca la cebada Cerro prieto.

La prueba de comparación de medias para temperatura (TEMP), formó dos grupos de significancia estadística (Cuadro 4.4), dentro de los que destacan numéricamente las densidades 150, 110 y 90 Kg ha⁻¹ con las temperaturas 26.06, 25.96 y 25.86 °C; de igual manera las densidades con temperaturas menores fueron 100, 60 y 160 Kg ha⁻¹ con los valores de 25.00, 25.13 y 25.43°C respectivamente a diferencia de los resultados expuestos por Adán (2019) quien reporta valores de temperatura dosel de 20.8 y 20.7°C.

Para la variable forraje verde (FV); se formaron tres grupos estadísticos entre los cuales destacan numéricamente las densidades 80, 110 y 70 Kg ha⁻¹ con rendimientos de 54.71, 53.08 y 49.01 t ha⁻¹, como se indica el Cuadro 4.4. Mientras que las densidades con los menores rendimientos fueron 170, 150, 130 Kg ha⁻¹; con producciones de forraje verde de 36.30, 41.04 y 42.39 t ha⁻¹.

Cuadro 4.4. Resultados de la Prueba de Comparación de Medias (DMS) para para las diferentes variables estudiadas en el segundo muestreo

Densidades (Kg ha ⁻¹)	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
60	101.66 A	0.62 AB	25.13 A	42.90 ABC	9.91 BC	70.66 C
70	100.00 A	0.69 AB	25.50 A	49.01 ABC	9.97 ABC	70.66 C
80	103.33 A	0.67 AB	25.73 A	54.71 A	12.79 AB	71.00 C
90	100.00 A	0.68 AB	25.86 A	45.73 ABC	10.24 ABC	72.33 BC
100	105.00 A	0.64 AB	25.00 A	45.08 ABC	10.95 ABC	71.00 C
110	101.66 A	0.63 AB	25.96 A	53.08 AB	13.28 A	72.33 BC
120	105.00 A	0.61 B	25.70 A	46.79 ABC	10.86 ABC	71.00 C
130	101.66 A	0.70 A	25.66 A	42.39 ABC	9.57 BC	72.33 BC
140	98.33 A	0.61 B	25.56 A	48.13 ABC	11.60 ABC	75.00 A
150	100.00 A	0.68 AB	26.06 A	41.04 BC	10.86 ABC	73.66 AB
160	101.66 A	0.69 AB	25.43 A	46.19 ABC	10.95 ABC	72.33 BC
170	96.66 A	0.64 AB	25.83 A	36.30 C	8.77 C	73.66 AB
Media	101.25	0.65	25.62	45.94	10.81	72.16
DMS	8.56	0.07	1.07	12.83	3.34	2.62

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05% de probabilidad); ALT: altura de planta; NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco.

Para la variable considerada de mayor importancia en el ámbito ganadero, forraje seco (FS); se formaron tres grupos, entre los cuales destaca numéricamente la densidad 110 Kg ha⁻¹, siendo estadísticamente igual al resto de densidades que integran el primer grupo, seguida de 80 y 140 Kg ha⁻¹ con los rendimientos 13.28, 12.79 y 11.60 t ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 4.4). Entre las densidades con los menores rendimientos de forraje seco están 170, 130 y 60 Kg ha⁻¹ con valores de 8.77, 9.57, 9.91 t ha⁻¹ como se puede observar, la mayor densidad exhibió el menor rendimiento, aunque estadísticamente igual al resto. Los resultados mencionados son similares a los que reporta Guzmán (2008) y Ramírez (2018).

Con relación a la variable etapa fenológica (ETAPA); se formaron tres grupos de significancia estadística, siendo el primero de ellos la densidad 140 Kg ha⁻¹, provocando que la variedad acortara su ciclo con el valor de 75.00 en la escala de Zadoks (1974); seguido, aunque en el mismo grupo las densidades 150 y 170 Kg ha⁻¹ con 73.66 (Cuadro 4.4). Las densidades con valores menores, es decir, que retardaron el ciclo vegetativo en GABYAN95 fueron 60 y 70 Kg ha⁻¹ con los valores

70.66 en ambas densidades, etapa en que la planta se encuentra aproximadamente en formación de grano.

Tercer muestreo y variables de grano o semilla

En el Cuadro 4.5 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza del tercer muestreo realizado a los 104 dds, además de las variables o características de grano o semilla, donde se observa que para la fuente de variación repeticiones (REP) con significancia al ($P \leq 0.05$), solo temperatura de planta o dosel y etapa fenológica del cultivo (ETAPA) observaron diferencias.

Para esa misma fuente de variación; las variables de grano; tallos por metro cuadrado (TM^2), longitud de espiga (LE), granos por espiga (GE), rendimiento de grano (RG), peso de mil semillas (PMS), al igual que, altura de planta (ALT), Índice de Vegetación diferencial Normalizado (NDVI), forraje verde (FV) y forraje seco (FS) no se observaron diferencias estadísticas significativas; resultados que coinciden parcialmente con lo reportado por Guberac *et al.* (2005) y Chávez (2009).

En cuanto a los coeficientes de variación (CV), se encuentran entre 1.78% y 22.1%, para etapa fenológica (ETAPA) y forraje verde (FV) respectivamente por lo que se ubican dentro de una magnitud aceptable.

Cuadro 4.5. valores de cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para el tercer muestreo y características de grano o semilla

Fuente de variación	gL	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA	TM2	LE	GE	RG	PMS
REP	2	33.333 ^{NS}	0.0076 ^{NS}	2.77*	97.85 ^{NS}	8.776 ^{NS}	9.361*	661.77 ^{NS}	0.0713 ^{NS}	32.368 ^{NS}	0.9965 ^{NS}	2.6806 ^{NS}
DENS	11	12.12 ^{NS}	0.0058 ^{NS}	0.472 ^{NS}	95.57 ^{NS}	6.257 ^{NS}	4.633 ^{NS}	1157.02 ^{NS}	0.1666 ^{NS}	5.294 ^{NS}	0.5959 ^{NS}	8.7865 ^{NS}
EExp	22	22.727	0.0073	0.511	93.07	7.57	2.391	1035.65	0.1576	10.6319	0.7402	5.0904
CV%		4.54	16.19	2.7	22.1	19.1	1.78	5.98	3.77	5.65	18.24	4.66

*y ^{NS}, significancia ($P \leq 0.05$) y no significancia respectivamente; gL: Grados de Libertad; ALT: altura de planta; NDVI: Índice de vegetación diferenciado normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco; ETAPA: etapa fenológica; TM2: Tallos por metro cuadrado; LE: Longitud de espiga; GE: Granos por espiga; RG: Rendimiento por grano; PMS: Peso de mil semillas.

Para la fuente de variación densidades (DENS) en ninguna característica o variable (forrajera, infrarrojo y de grano o semilla), el análisis de varianza (Cuadro 4.5) reportó diferencias estadísticamente significativas (NS); no obstante, se realizó la prueba de comparación de medias (DMS al 0.05 %) para establecer algunas diferencias numéricas de interés y facilitar la comprensión e interpretación, resultados que se concentraron en el Cuadro 4.6.

En la prueba de comparación de medias (DMS al 0.05%) para altura de planta (ALT), ésta reportó un grupo de significancia, dentro del cual destacan numéricamente las densidades 120, 160, 110, 100 y 60 Kg ha⁻¹ con los valores más altos de 108.33 cm para la primera densidad mencionada y 106.66 cm para las restantes; en tanto que las densidades con menor altura de planta fueron 130, 70, 140, 150 y 170 Kg ha⁻¹ con los valores de 101.66 cm para la primera y 103.33 cm para el resto de las densidades mencionadas.

Como puede apreciarse en el mismo Cuadro 4.6, si bien no hay diferencias estadísticas significativas, la tendencia parece errática; así, por ejemplo, la densidad más baja en este estudio (60 Kg ha⁻¹) y una de las más altas (160 kg ha⁻¹) entre otras, mostraron la mayor altura de planta (106.60 cm) en tanto que la intermedia (120 Kg ha⁻¹) fue ligeramente alta. Estos resultados difieren en buena medida de lo reportado por Darkinwel (1980), quien señala que, a mayor número de plantas, aumenta la altura, se reduce el diámetro de tallos y entrenudos, lo que favorece el acame.

Así mismo, la prueba de comparación de medias para NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizado) formó dos grupos de significancia (Cuadro 4.6), donde la densidad 70 Kg ha⁻¹ presentó numéricamente el mayor índice de verdor con 0.63, el cual resultó estadísticamente igual a 10 densidades más; numéricamente el valor más bajo fue para la densidad 110 Kg ha⁻¹ con 0.45, aunque estadísticamente igual a ocho promedios más. Al respecto Muriado *et al.* (2016), citaron que el NDVI se ve afectado significativamente de acuerdo al estado fenológico en el que se realiza la lectura, los niveles hídricos y diferentes dosis de nitrógeno que recibe el cultivo.

Cuadro 4.6. Resultados de la Prueba de Comparación de Medias (DMS) para el tercer muestreo y características de grano

Densidades Kg ha ⁻¹	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA	TM2	LE	GE	RG	PMS
60	106.66 A	0.54 AB	26.50 AB	45.73 AB	14.70 AB	85.66 CD	493.00 B	10.70 A	57.00 A	4.62 A	50.83 A
70	103.33 A	0.63 A	25.80 B	53.42 A	14.17 AB	85.00 D	537.67 AB	10.71 A	57.53 A	4.14 A	49.35 AB
80	105.00 A	0.50 AB	26.76 B	42.84 AB	16.51 A	86.33 ABC	540.00 AB	10.83 A	60.90 A	4.68 A	44.91 C
90	105.00 A	0.54 AB	26.60 AB	52.30 A	13.93 AB	85.66 CD	562.00 A	10.33 AB	58.36 A	4.19 A	48.16 ABC
100	106.66 A	0.50 AB	26.63 AB	44.31 AB	14.41 AB	86.33 ABC	515.00 AB	10.61 AB	57.46 A	4.96 A	49.56 AB
110	106.66 A	0.45 B	26.36 AB	43.86 AB	15.59 AB	88.00 ABC	559.67 A	10.66 A	59.13 A	4.91 A	47.32 ABC
120	108.33 A	0.49 AB	26.06 AB	39.93 AB	12.84 AB	86.33 BCD	573.33 AB	10.42 AB	57.03 A	5.38 A	46.67 BC
130	101.66 A	0.52 AB	26.80 AB	41.66 AB	14.70 AB	86.33 ABC	539.67 AB	10.46 AB	56.03 A	4.30 A	48.17 ABC
140	103.33 A	0.53 AB	26.53 AB	40.99 AB	14.93 AB	88.33 AB	553.00 A	10.38 AB	57.46 A	4.21 A	47.71 ABC
150	103.33 A	0.51 AB	27.13 A	38.97 AB	13.57 AB	87.33 ABCD	550.67 A	10.69 A	57.46 A	4.66 A	49.93 AB
160	106.66 A	0.56 AB	26.40 AB	47.04 AB	16.24 A	88.00 ABC	522.00 AB	10.53 AB	57.70 A	5.37 A	50.36 AB
170	103.33 A	0.53 AB	26.20 AB	32.86 B	11.26 B	89.00 A	537.33 AB	9.95 B	56.03 A	5.13 A	47.41 ABC
Media	105.00	0.52	26.40	43.66	14.40	86.86	537.27	10.52	57.66	4.71	48.36
DMS	8.07	0.14	1.21	16.33	4.65	2.61	54.49	0.67	5.52	1.45	3.82

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales. ALT: altura de planta; NDVI: Índice de vegetación diferenciado normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco; ETAPA: etapa fenológica; TM2: Tallos por metro cuadrado; LE: Longitud de espiga; GE: Granos por espiga; RG: Rendimiento por grano; PMS: Peso de mil semillas.

La prueba de comparación de medias para temperatura (TEMP); formó dos grupos de significancia estadística (Cuadro 4.6), dentro de los que destacan numéricamente las densidades 150, 130 y 80 Kg ha⁻¹ con las temperaturas 27.13, 26.80 y 26.76°C, que junto a ocho promedios más formaron el primer grupo de significancia; de igual manera las densidades con temperaturas menores fueron 70, 120 y 170 Kg ha⁻¹ con valores de 25.80, 26.06 y 26.20°C, dentro del grupo B. Ramírez (2017), cita que la temperatura de planta es una medida versátil que puede complementar el mejoramiento, ya que es altamente integrativa de muchas funciones fisiológicas necesarias para asegurar la adaptación a un ambiente determinado.

Para la variable forraje verde (FV); igualmente se formaron dos grupos estadísticos entre los cuales destacaron numéricamente las densidades, 70, 90, 160 Kg ha⁻¹ con los valores 53.42, 52.30, 47.04 t ha⁻¹, como aparece en el Cuadro 4.6. Las densidades con los menores rendimientos fueron 170, 150, 120 Kg ha⁻¹; con los valores de 32.86, 38.97, 39.93t ha⁻¹ respectivamente y que junto a siete promedios más conformaron el segundo grupo de significancia. El forraje verde es de alta digestibilidad, alto valor nutricional y apto para la alimentación de animales; además se diferencia de otros alimentos porque el animal consume hojas, parte de las semillas y las raíces (Chávez, 1999; Dulanto, 2001; FAO, 2006).

En cuanto a la variable forraje seco (FS); lo cual se considera de mayor importancia en el ámbito de forrajero; una vez más se formaron dos grupos de significancia entre los que destacan numéricamente las densidades 80, 160, 110 Kg ha⁻¹ con los valores 16.51, 16.24 y 15.59 t ha⁻¹ (Cuadro 4.6), que junto a ocho promedios más conformaron el primer grupo. Por el contrario, entre las densidades con valores menores para la variable forraje seco están; 170, 120 y 150 Kg ha⁻¹ con los valores de 11.26, 12.84, 13.57 t ha⁻¹, respectivamente.

Respecto a la variable etapa fenológica (ETAPA); se formaron cuatro grupos estadísticos, encabezando el primero de ellos por la densidad más alta de 170 Kg ha⁻¹, junto a siete promedios más, lo que sugiere que ésta provocó un acortamiento del ciclo vegetativo en la variedad; es decir, cuanto mayor densidad, la variedad

tendió a la maduración fisiológica (etapa 89 de Zadoks *et al.*, 1974); comportamiento similar y dentro del mismo grupo de significancia, se ubicaron las densidades 140, 160 y 110 Kg ha⁻¹ con valores de 88.77 y 88.80 de la escala mencionada (Cuadro 4.6). Las etapas relativamente más tardías, correspondieron a las densidades 70, 60 y 90 Kg ha⁻¹ con valores de 85.00 y 85.66 de la escala mencionada, que numéricamente fueron las menores dentro del grupo D.

Para la variable tallos por metro cuadrado (TM²); se formaron cuatro grupos de significancia entre los cuales destacan numéricamente las densidades 120, 90 y 110 Kg ha⁻¹ con valores de 573.33, 562.000 y 559.67 tallos por m², en el mismo orden; entre las densidades con menos tallos se ubicaron numéricamente las de 60, 100 y 160 Kg ha⁻¹ con valores de 493.00, 515.00 y 522.00 tallos por m² respectivamente (Cuadro 4.6).

La competencia es el proceso de mayor importancia en la regulación de las respuestas del cultivo a la densidad. Ocurre cuando las plantas comparten recursos que están provistos en forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada. Puede causar la reducción de la supervivencia, de la producción de materia seca y de rendimiento individual por planta, sin embargo, un cultivo creciendo en condición de elevada competencia a partir de una correcta elección de la densidad de siembra, maximiza la utilización de los recursos por unidad de área y su rendimiento (Kruk y Satorre, 2003).

En lo referente a la variable longitud de espiga (LE); se formaron dos grupos estadísticos (Cuadro 4.6), entre los cuales destacan numéricamente las densidades 80, 70 y 60 Kg ha⁻¹ con longitudes de 10.83, 10.71 y 10.70 cm, aunque estadísticamente iguales al resto de las densidades dentro del primer grupo, la densidad más elevada del presente trabajo (170 Kg ha⁻¹ q) presentó el menor tamaño de espiga con 9.95 cm al menos de forma numérica, compartiendo dentro del segundo grupo con densidades como las de 90 y 140 Kg ha⁻¹ con los valores de 10.33 y 10.38 cm.

Las modificaciones en la arquitectura de la inflorescencia han sido vitales para la domesticación de los cereales al contribuir a la mejora de la cosechabilidad y el

rendimiento, y el uso de variación genética para aspectos clave del desarrollo de la inflorescencia; ofrece más oportunidades para aumentar la productividad (Doebley *et al.* 2006; Olsen y Wendel 2013).

Para la variable granos por espiga (GE); se formó un solo grupo, en el cual numéricamente destacaron las densidades 80, 110 y 90 Kg ha⁻¹ con valores de 60.90, 59.13 y 58.36, en forma respectiva en cuanto que las densidades con valores menores están 120, 60 y 130 Kg ha⁻¹ con 56.03, 57.00 y 57.03 granos por espiga respectivamente (Cuadro 4.6). Los rendimientos altos de grano pueden obtenerse con la combinación apropiada de cultivar, ambiente y prácticas agronómicas (Alam *et al.*, 2007). En cebada, el cultivar tiene una función importante en el rendimiento de grano, y las características agronómicas, como el potencial de rendimiento, macollos por planta y calidad física del grano, permiten mejorar la estabilidad del rendimiento (Friedt *et al.*, 2011).

Para la variable de rendimiento de grano (RG); considerada de la mayor importancia en producción de grano o semilla se formó también un solo grupo en el cual destacaron numéricamente las densidades 120, 160 y 170 Kg ha⁻¹ que exhibieron los máximos rendimientos con los valores de 5.38, 5.37 y 5.13 t ha⁻¹ (Cuadro 4.6). Mientras que, dentro de las densidades con los valores menores, aunque estadísticamente iguales están 140, 90 y 70 Kg ha⁻¹ con rendimientos de 4.21, 4.19 y 4.14 t ha⁻¹ en el mismo orden.

También es probable que la respuesta del rendimiento de grano a la densidad varíe entre los cultivares de cebada (Anderson, 1985) porque algunos se alojan mal a altas densidades (Kirby, 1967). El rendimiento de grano resulta de un óptimo balance de tres componentes del rendimiento: el número de espigas por área, el número de granos por espiga y del peso individual de los granos (Evans *et al.*, 1975).

Respecto a la variable de peso mil semillas (PMS); se formaron tres grupos estadísticos destacando en forma numérica las densidades 60, 160 y 150 Kg ha⁻¹ con los valores de 50.83, 50.36 y 49.93 g en forma respectiva (Cuadro 4.6), quienes junto con seis promedios más formaron el primer grupo de significancia; en tanto que las densidades con valores menores están 80, 120 y 110 Kg ha⁻¹ con los valores

de 44.91, 46.67 y 47.32 g, con cuatro densidades más. 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).

Resultados del análisis de varianza combinado

En cuanto a la información conjunta (tres muestreos), en el Cuadro 4.7, se presentan los resultados del análisis de varianza combinado sobre muestreos, donde se observa que para la fuente de varianza repeticiones, altura de planta (ALT) y (ETAPA) exhibieron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), como mencionan Van Keulen y Seligman citados por Solís Díaz (2001), que pueden acelerar o acortar su ciclo de las plantas; como encontró Pérez (2018), por efecto de las temperaturas de las localidades, en comparación de otros cereales de grano pequeño. Para esa misma fuente de variación (REP), temperatura de planta o dosel (TEMP) presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$), en tanto que Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), forraje verde (FV) y forraje seco (FS) resultaron no significativas.

Cuadro 4.7. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado sobre muestreos para las diferentes variables estudiadas

Fuente de variación	gL	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
REP	2	316.898**	0.008 ^{NS}	2.1784*	19.268 ^{NS}	2.9235 ^{NS}	24.843**
MUESTREOS	2	14536.343**	0.302**	229.623**	2767.628**	714.341**	9485.065**
MUEST(REP)	4	45.023*	0.002 ^{NS}	0.5102 ^{NS}	54.265 ^{NS}	4.331 ^{NS}	1.481 ^{NS}
DENSIDADES	11	81.734*	0.003 ^{NS}	0.8277 ^{NS}	111.695 ^{NS}	7.777 ^{NS}	16.171**
MUEST*DENS	22	48.969 ^{NS}	0.004 ^{NS}	0.7632 ^{NS}	45.83 ^{NS}	2.265 ^{NS}	1.590 ^{NS}
EExp	66	37.416	0.004	0.745	70.147	4.315	2.481
CV(%)		6.68	9.53	3.51	21.05	20.25	2.21

^{NS}, * y **, No significancia, significancia ($P \leq 0.05$) y alta significancia estadística ($P \leq 0.01$); REP: repeticiones; EExp: Error experimental; CV: Porcentaje de Coeficiente de variación; gL: Grados de Libertad; ALT: altura de planta; NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco; ETAPA: Etapa fenológica.

Estas diferencias concuerdan con lo reportado por Houspanossian *et al.* (1990) quienes mencionan, que en la planta se lleva a cabo un complejo equilibrio de factores físicos, fisiológicos y climáticos, que alteran y modifican de diferente manera y proporcional la radiación incidente, al grado de cobertura de la vegetación y la evapotranspiración. A menudo, el rendimiento de grano es afectado por las condiciones ambientales durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, en especial la temperatura (Mendoza *et al.*, 2011).

Como lo explicó Muriado *et al.* (2016), que el NDVI tiende a cambiar significativamente de acuerdo con el estado fenológico cuando es tomada la lectura, ya que este índice mide el verdor que presenta el cultivo, pero la disminución de NDVI (con sensor óptico) que se encontró entre los muestreos, se consideró normal, al coincidir con otros autores, en etapas tempranas mayor valor en NDVI y disminuyen en etapas más tardías, como en maíz, teniendo mayor rendimiento de forraje.

En otro estudio, en rendimiento de grano y NDVI en mediciones posteriores, no se logró distinguir la variación de biomasa verde y el NVDI con días de grado de crecimiento, lo que no predice completamente el potencial de rendimiento (Teal *et al.*, 2006). Ya que como menciona Reynolds *et al.* (2013), esta variable indica el estado de la planta, siendo una herramienta útil para medir el progreso del follaje, no destructiva y que contribuye a determinar el rendimiento. (Riggs *et al.*, 1981), reconoció que cualquier aumento adicional en el índice de cosecha puede ser limitado y, por lo tanto, puede ser necesario aumentar la producción de biomasa para mejorar aún más el rendimiento (Riggs, *et al.*, 1981; Hanson *et al.*, 1985).

Entre muestreos, todas las variables reportaron diferencias altamente significativas, lo cual era de esperarse toda vez que el desarrollo del cultivo es muy diferente entre el primer y tercer muestreo; en trigos forrajeros, Sánchez *et al.* (2018), reportaron resultados similares, por lo que se deduce el efecto que el grado de desarrollo del cultivo impone en las variables estudiadas.

Respecto a la fuente muestreos dentro de repeticiones solo ALT muestra significancia ($P \leq 0.05$), aunque se consideró de poco interés en nuestra investigación.

La fuente de variación de mayor importancia para nuestro propósito (DENSIDADES) al igual que en el primer muestreo, solo mostró diferencias significativas en la variable altura de planta ($P \leq 0.05$) y ETAPA ($P \leq 0.01$), lo que sugiere que estas dos variables fueron las mayormente afectadas por la densidad de siembra, afectando mayormente el desarrollo del cultivo (ETAPA) y en segundo lugar la altura de planta de la variedad GABYAN95, en cambio, para la interacción muestreos por densidades, ninguna variable presentó diferencias significativas (Cuadro 4.7).

Pruebas de comparación de medias combinados sobre muestreos

Aunque la mayoría de las variables no presentaron diferencias estadísticas significativas, se desarrollaron pruebas de comparación de medias a través de la diferencia mínima significativa (DMS), cuyos resultados aparecen en el Cuadro 4.8, y de dichas pruebas solamente hablamos de cuatro, dos por su significancia estadística (ALT y ETAPA) y dos más; producción de forraje verde (FV) y seco (FS), por considerarlas de mayor importancia agronómica, además porque las variables NDVI y TEMP ya han sido tratadas suficientemente en cada muestreo por separado.

Al considerar conjuntamente los tres muestreos, la altura de planta al parecer se vio favorecida o influenciada por las densidades de siembra 110 y 120 Kg ha^{-1} , cuyo porte alcanzado fue, 96.11 y 95.56 cm respectivamente, quienes junto con seis densidades más formaron el primer grupo de la prueba de medias realizada; mientras que las menores alturas correspondieron a las densidades 70, 90 y 170 Kg ha^{-1} con 85.00 y 89.44 cm en ese orden, que junto con tres promedios más conformaron el segundo grupo de significancia.

Para producción de forraje seco (FS); como lo menciona Besnier (1998), el vigor puede verse alterado por anomalías en la constitución de las semillas provocando así bajo peso seco de la plántula; la prueba de medias para esta importante variable en el ámbito forrajero, generó cuatro grupos estadísticos, el primero de los cuales es encabezado numéricamente por las densidades 110 y 80 Kg ha⁻¹ con 11.76 y 11.58 t ha⁻¹, en tanto que el menor rendimiento de forraje seco en forma numérica del cuarto grupo de significancia, correspondió a la densidad más alta (170 Kg ha⁻¹) con 8.50 t ha⁻¹; es decir, 3.26 t ha⁻¹ menos que el rendimiento más alto y 1.76 t ha⁻¹ menos que la media general de la variable que fue 10.26 t ha⁻¹. Similar tendencia se observó en la variable forraje (FV) en la que solo se formaron dos grupos de significancia como se aprecia en el mismo Cuadro 4.8.

La precocidad es sin duda un factor relevante en los esquemas de producción forrajera invernal en México, porque permite ocupar el terreno durante menos tiempo, es decir, justo en el corto periodo invernal; por ello resulta importante la variable ETAPA, para la cual el análisis de varianza reportó alta significancia para el primer muestreo (Cuadro 4.1), significancia al 0.05% para el segundo (Cuadro 4.3) y nuevamente alta significancia estadística en el combinado (Cuadro 4.7).

La prueba de medias formó 6 grupos estadísticos, el primero de ellos encabezado por la densidad 140 Kg ha⁻¹, grupo al cual pertenecen también las densidades más altas (150, 160, y 170 Kg ha⁻¹); pareciera que, a mayor densidad, el ciclo del cultivo tiende a acortarse ligeramente, sugiriendo que es a partir de los 140 Kg ha⁻¹ cuando la variedad GABYAN95 responde acortando su ciclo, aunque es necesario confirmar esta aseveración con otros ensayos.

Cuadro 4.8. Resultados de las pruebas de comparación de medias (DMS) combinadas sobre muestreos

Densidad (Kg ha ⁻¹)	ALT (cm)	NDVI	TEMP (°C)	FV (tha ⁻¹)	FS (tha ⁻¹)	ETAPA (Zadoks)
60	90.56ABC	0.619AB	24.63AB	38.23AB	9.77BCD	69.56EF
70	85.00C	0.670 ^a	24.40AB	42.85A	9.53CD	69.11F
80	92.22AB	0.630AB	24.50AB	41.81A	11.58AB	70.56EDF
90	89.44BC	0.637AB	24.59AB	43.90A	9.92ABCD	70.11EDF
100	93.33 A	0.622AB	24.34AB	39.73A	10.38ABCD	70.56EDF
110	96.11 A	0.603B	24.47AB	44.06A	11.76 A	71.56BCD
120	95.56 A	0.620AB	24.07AB	39.36AB	9.98ABCD	70.56EDF
130	90.57ABC	0.643AB	24.59AB	38.92AB	10.21ABCD	71.00CDE
140	90.56ABC	0.613B	24.72AB	39.47AB	10.53ABC	73.44 A
150	92.78AB	0.624AB	25.06 A	36.16AB	9.89ABCD	72.22ABC
160	93.33AB	0.656AB	24.33B	41.75A	11.13ABC	72.44ABC
170	89.44BC	0.628AB	24.71AB	31.82B	8.50D	72.78AB
MEDIA	91.57	0.63	24.53	39.84	10.26	71.16
CV (%)	6.68	9.53	2.99	21.09	20.22	2.21
DMS	5.76	0.056	0.69	7.91	1.95	1.48

Medias con la misma literal, no son estadísticamente diferentes; CV: Porcentaje del Coeficiente de Variación; DMS: Diferencia Mínima Significativa; ALT: altura de planta; NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco; ETAPA: Etapa fenológica

4.2. Correlaciones entre las diferentes variables evaluadas

En el primer muestreo (Cuadro 4.9), la altura de planta (ALT) se asoció positiva y significativamente con forraje seco (FS) y etapa fenológica (ETAPA); indicando que cuanto más alta es la planta mayor es su rendimiento de materia seca; similarmente cuanto más avanza la etapa fenológica del cultivo su altura también se incrementa. Esta última correlación contrasta con lo reportado por Calvo (2016).

La variable NDVI mostró asociación negativa ($r=-0.84$) con temperatura de planta (TEMP) y positiva con forraje verde (FV) y forraje seco (FS), lo cual sugiere que, al elevarse la temperatura, un mayor índice de verdor, está asociado con mayor rendimiento de forraje verde y seco, en tanto que el mayor color verde de la planta se asocia con menores temperaturas de planta. Temperatura de planta se

correlacionó en sentido negativo con FV ($r=-0.77$) y FS ($r=-0.79$), lo que se puede entender en el sentido de que la temperatura alta genera condición de estrés en la planta en detrimento de su expresión al rendimiento; en tanto que FV y FS exhibieron asociación positiva entre sí (Cuadro 4.9).

Cuadro 4.9 Correlaciones entre las diferentes variables para el primer muestreo

	ALTURA	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
ALTURA	1	0.49	-0.4	0.49	0.7*	0.65
NDVI	0.49	1	-0.84*	0.6	0.77*	0.14
TEMP	-0.4	-0.84*	1	-0.77*	-0.79*	-0.02
FV	0.49	0.6	-0.77	1	0.82*	0.1
FS	0.7*	0.77*	-0.79*	0.82*	1	0.36
ETAPA	0.65	0.14	-0.2	0.1	0.36	1

*correlaciones significativas, NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco; ETAPA: Etapa fenológica

En el segundo muestreo (Cuadro 4.10), prácticamente desaparecen las correlaciones observadas en el primero con excepción de forraje verde (FV) y forraje seco (FS); cuya asociación se mantiene de forma casi idéntica, y altura de planta con etapa, aunque ahora en sentido negativo ($r=-0.71$), sugiriendo que las plantas más precoces crecieron menos.

Al parecer, conforme avanza el ciclo de cultivo tratándose de la misma variedad como en este caso, donde lo único que varía es la densidad de siembra, las correlaciones entre variables de tipo forrajeras (hasta 104 días dds) tienden a desaparecer; así, en el tercer muestreo (Cuadro 4.11) el análisis de correlación solo detectó asociación negativa ($r=-0.69$) entre forraje verde y ETAPA, indicando que los tratamientos más precoces rindieron menos forraje verde.

Cuadro 4.10 Correlaciones entre las diferentes variables para el segundo muestreo

	ALTURA	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA
ALTURA	1	-0.14	-0.37	0.43	0.41	-0.71*
NDVI	-0.14	1	0.29	-0.04	-0.21	-0.02
TEMP	-0.37	0.29	1	0.11	0.21	0.45
FV	0.43	-0.04	0.11	1	0.86*	-0.31
FS	0.41	-0.21	0.21	0.86*	1	-0.04
ETAPA	-0.71	-0.02	0.45	-0.31	-0.04	1

*correlaciones significativas, NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco; ETAPA: Etapa fenológica

Al considerar conjuntamente los datos del tercer muestreo (Cuadro 4.11) con los obtenidos a la madurez de cosecha (130 dds), se establecen otras asociaciones importantes tales como; altura de planta (ALT) con rendimiento de grano (RG), forraje seco (FS) con longitud de espiga (LE) y número de granos por espiga (GE), estas últimas además relacionadas entre sí, todas ellas de forma positiva; lo cual indica que cuanto más larga es la espiga, presenta mayor número de espiguillas, granos por espiga, altura de planta y también influye de forma positiva al rendimiento de grano; resultados que coinciden parcialmente con lo reportado por Camarena (2002), de igual manera lo reportan Ataei (2006) en cereales de grano pequeño, López (1990) en cebada y Camarena (2002) en trigo, existen también correlaciones en sentido negativo entre forraje verde (FV) con ETAPA ($r=-0.69$), lo cual es muy normal dado que a medida que el cultivo tiende a la madurez, el contenido de humedad decrece; ETAPA a su vez mostró asociación negativa con longitud de espiga ($r=-0.58$).

Cuadro 4.11 Correlaciones entre las diferentes variables para el tercer muestreo incluyendo las variables de grano en madurez de cosecha

	ALT	NDVI	TEMP	FV	FS	ETAPA	TM2	LE	GE	RG	PMS
ALT	1.00	-0.39	-0.20	0.15	0.17	-0.10	-0.40	0.17	0.27	0.66	0.00
NDVI	-0.39	1.00	-0.26	0.45	-0.16	-0.31	-0.25	0.02	-0.34	-0.37	0.48
TEMP	-0.20	-0.26	1.00	-0.18	-0.10	0.20	0.30	-0.07	-0.43	-0.12	0.52*
FV	0.15	0.45	-0.18	1.00	0.45	-0.69*	-0.15	0.47	0.12	-0.45	0.32
FS	0.17	-0.16	-0.10	0.45	1.00	-0.13	-0.13	0.66*	0.69*	-0.14	-0.04
ETAPA	-0.10	-0.31	0.20	-0.69*	-0.13	1.00	0.26	-0.58*	-0.01	0.44	-0.18
TM2	-0.40	-0.25	0.30	-0.15	-0.13	0.26	1.00	-0.14	0.10	-0.27	0.33
LE	0.17	0.02	-0.07	0.47	0.66	-0.58	-0.14	1.00	0.60*	-0.21	0.19
GE	0.27	-0.34	-0.43	0.12	0.69	-0.01	0.10	0.60	1.00	0.08	-0.49
RG	0.66	-0.37	-0.12	-0.45	-0.14	0.44	-0.27	-0.21	-0.08	1.00	-0.06
PMS	0.00	0.48	0.52	0.32	-0.04	-0.18	-0.33	0.19	-0.49	0.16	1.00

*correlaciones significativas *correlaciones significativas, NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizado; TEMP: temperatura; FV: Forraje verde; FS: Forraje seco; ETAPA: Etapa fenológica; TM2: Tallos por metro cuadrado; LE: Longitud de espiga; GE: Granos por espiga; RG: Rendimiento por grano; PMS: Peso de mil semillas.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones experimentales en las que se desarrolló el trabajo, los datos y resultados en ellas obtenidos, se puede concluir que: no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las densidades de siembra estudiadas, lo cual desde un punto de vista económico en la producción de forraje invernal y semilla con la variedad GABYAN95, puede considerarse ventajoso al poder utilizar las densidades menores reduciendo costos.

Las variables más afectadas por las densidades de siembra a través de los muestreos realizados fueron la altura de planta y la etapa fenológica

Las correlaciones entre variables tanto infrarrojo como agronómicas para forraje fueron de diferente índole y sentido de un muestreo a otro, incluso tendieron a disminuir o desaparecer en cambio para grano o semilla, hubo asociación entre altura de planta (ALT) y rendimiento de grano (RG), al igual que longitud de espiga (LE) y granos por espiga (GE).

Es deseable continuar la investigación en condiciones de clima y suelo diferentes, sobre todo en aquellas áreas consideradas de alto potencial productivo, lo anterior con el propósito de ofrecer recomendaciones efectivas.

6. LITERATURA CITADA

- Aceves, R. E., Turrent, F. A., Cortes, F. J. I., Volke, H. V. 2002. Comportamiento agronómico del híbrido H-137 y materiales criollos de maíz en el Valle de Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:339-347.
- Adán, A.O.R. 2019. Estudio de caracteres estomáticas y con sensores infrarrojos en progenies de cebadas forrajeras. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- 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.
- Anderson, W.K., 1985. Production of green feed and grain from grazed barley in northern Syria. *Field Crops Res.*, 10: 57-75.
- Araya M. M.; Boschini C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Rev. Agronómica Mesoamericana* 16(1): 37-43.
- Arellano, V. 2010. Manual de la cebada cervecera. Bogotá. CO. Agroinversores. <http://es.scribd.com/doc/14229542/Manual-Cebada>.
- Ataei, M. 2006. Path analysis of barley yield. *Tarim Bilimleri Dergisi. Ankara Universitesi Ziraat Fakultesi (Irán)*. 12(3):227-232.
- Akar, T. M., and F. Dusunceli. 2004. Barley: post-harvest technologies. <http://www.fao.org/inpho/content/compand/text/ch31/ch31.htm>, 64 p.
- ASGROW. 2019. Beneficios de la densidad óptima al sembrar. Disponible en: <https://www.asgrow.com.mx/es-mx/tendencias/beneficios-de-la-densidad-optima-al-sembrar-.html>

- Bellido, L. L. 1991. Cultivos herbáceos, Vol. 1. Cereales. Editorial MundiPrensa. Madrid. pp. 245-272.
- Besnier F. R. 1989. Semillas. Biología y tecnología. (2a edición) Ed. Mundiprensa. Madrid. p. 63
- Bothmer, R., Sato, K., Komatsuda, T., Yasuda, S. and Fischbeck, G. 2003. The domestication of cultivated barley. In Diversity in Barley. Ed. Bothmer R Von. Hintum T van, Knüpfner H, Sato K. Elsevier Science B.V., Amsterdam, NL p. 127.
- Box, A. 2008. The biology of *Hordeum vulgare* L.(Barley). Australian Government: Department of health and ageing.
- Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brooks, P. A. & Stevens, R. 2004. Brewing, Science and Practice (CRC Press, Boca Raton Fl., USA, 2004).
- Camarena, B.H.S. 2002. Evaluación de genotipos criollos y mejorados de trigo harinero (*Triticum aestivum* L) en Zaragoza, Coahuila. Tesis Licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Callejo, G.M.J. 2002. Industrias de cereales y derivados. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. Pp. 24-35.
- Calvo, V. D. 2016. Selección de nuevas líneas de cebada imberbe por su comportamiento forrajero a partir de las fracciones: Tallos, hojas, espigas y rendimiento de grano. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
- Chávez C. 1999. Tesis: Uso de forraje hidropónico en la alimentación de vacas lecheras. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. 30p.
- Chávez, R.J.M. 2009. Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento de forraje y sus fracciones en cuatro especies de cereales. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 62 P.

- Cherney, J. H. and Marten, G. C. 1982. Small grain crop forage potential: I. Biological and chemical determinants of quality, and yield. *Crop. Sci.* 22(2):227-231.
- 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.
- Colín, R. M.; Zamora, V. V. M.; Torres, T. M. A. y Jaramillo, S. M. A. 2009. Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en el norte de México. *Téc. Pec. Méx.* 47(1):27-40
- Darkinwel, A. 1980. Ear development and formation of grain yield in winter wheat. *Netherland Journal of Agricultural Science* 28: 156-163.
- Doebley, J., Gaut, B.S., Smith, B.D. 2006. The molecular genetics of crop domestication. *Cell* 127: 1309–1321.
- Dulanto, M. 2001. Producción de Forraje verde por hidroponía. Curso Producción de cuyes. 21 y 22 junio. Cajamarca. INIA. 20p.
- Escalante, L. E.; Y. I. Escalante; y C. L. Elizalde. 2008. Densidades de siembra de girasol forrajero. *Agronomía Costarricense*, San José Costa Rica, julio-diciembre, año/vol.32, número 002, pp.177-182.
- Evans, L., I. Wardlaw and R. Fischer. 1975. Chapter 5: Wheat. p. 101-149. In Evans, L. T. (Ed.) *Crop physiology*. Cambridge University Press, Cambridge. 374 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Manual técnico de forraje verde hidropónico. Vol. 1. Santiago, Chile. 14p.
- Ferraris, G y Couretot, L. 2006. Estudio de la interacción nitrógeno * azufre sobre el rendimiento mediante la aplicación de fertilizantes líquidos. Campaña 2005/2006. Experiencia en el cultivo de trigo. Proyecto Regional Agrícola Centro Regional Bs. Norte: 181-186.

- Flores, E.L., Moreno, C.H., Figueroa, V.U. y Potisek, YMdElC. 2014. Disponibilidad de N y desarrollo de avena forrajera (*Avena sativa* L.) aplicación de biosólidos. *Terra Latinoamericana Volumen 32 No. 2* pp 99-105.
- Friedt, W., R. D. Horsley, B. L. Harvey, D. M. Poulsen, R. Lance, S. Ceccarelli, and F. Carpettini. 2011. Barley breeding, history, progress, objectives and technology. In: *Barley: production, improvement and uses*. Ullrich S. E. (ed.). Blackwell Publishing Ltd. pp: 160-220.
- Forage Barleys for Manitoba. 2006. What are Forage Barleys. *Bolletín Canadá*.
- González, R. A. 2007. Estudio de caracteres fenológicos, agronómicos, morfológicos y fisiológicos en relación con la tolerancia al estrés hídrico en cebada. Tesis de Doctorado. Universidad Complutense de Madrid. Madrid
- Gilabert, M.A., J. González-Piqueras y J. García-Haro, 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8: 35-45.
- Guberac, V., Maric, S., Bede, M., Kovacevic, J., Drenzer, G., Lalic, A., Josipovic, M., Juric, T. and Kis, D. 2005. Grain yield of new croatian winter wheat cultivars in correlation with sowing rate. *Cereal Research Communications*. Vol 33 Np. 4 777-784.
- Guerrero, A. 1992. *Cultivos herbáceos extensivos*. Ed. Mundiprensa. Madrid, España.
- Guzmán, P. Y. 2008. Producción de biomasa, relación hoja-tallo y correlaciones en líneas de cebada forrajera imberbe (*Hordeum vulgare* L.). Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Hanson, P.R., Riggs, T.J., Klose, S.J. and Austin, R.B. 1985. High biomass genotypes in spring barley. *J. Agric. Sci.*, 105: 73-78.
- Hart, H. R., G. E. Carlson and D. E. McCloud. 1971. Cumulative effects of cutting management of forage yields and tiller densities of tall fescue and orchard grass. *Agron. J.* 63 (4): 895-898. USA.

- Houspanossian, J., Schirmbeck. J., Rivas. R., Vázquez. P. 1990. Relación entre la temperatura radiativa de la vegetación y el contenido de agua en suelo. Argentina. pp. 137-138
- Iglesias, R. y Taha E. 2010. Monografía de especies anuales, arbustivas y acuícolas con potencial energético en Chile. Chile, ODEPA. 42 p.
- Juskiw, PE, Helm, JH and Salmon, DF. 2000. Forage yield and quality for monocrops and mixtures of small grain cereals. Crop Sci. 40:138-147
- Kabesh, M. O., M. F. El-kramany, G. A. Sary, H. M. El-Naggar, and S. H. B. Gehan. 2009. Effects of sowing methods and some bio-organic fertilization treatments on yield and yield components of wheat. Res. J. Agr. Biol. Sci. 5: 97-102.
- Kirby, E.J.M., 1967. The effect of plant density upon the growth and yield of barley. J. Agric. Sci., 68: 317-324.
- Kruk, B. y E. Satorre. 2003. Capítulo 13: Densidad y arreglo espacial del cultivo. pp.279-316. In: E. Satorre, R. Benech, G. Slafer, E. de la Fuente, D. Millares, D. Otegui y R. Savín. 2003. Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, Argentina. 783 p.
- López, L. 1990. Cultivos herbáceos vol. I Cereales. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. Impresiones grafo, S.A-Bilbao. P. 124
- Lucas, H. L. 1963. Determination of forage yield on quality from animal responses. In range research methods: A symposium U. S. Dept. Agr. Music. Public. 940. Pp 43-54.
- Ma. L. Q. 2001. El futuro de la ciencia del suelo. Departamento de Ciencias del Suelo y el Agua, Universidad de Florida, Gainesville, 32611-0290, Florida, EE. UU.

- Maqueira, L. A, Torres, W. y Miranda, A. 2009. Crecimiento y rendimiento de dos variedades de arroz de ciclo corto en época poco lluviosa. *Cultivos Tropicales*. 30(3):28-31.
- Maskova, Z., Zemek F. y Kuet J. 2008. Diferencia normalizada del índice de vegetación (NDVI) en el manejo de los prados de montaña. *Boreal Environment Research* 13: 417-432.
- Medrano, H., J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas-Carbó, y J. Guillas. 2007. Eficacia en el uso del agua por las plantas. *Invest. Geogr.* 43: 63-84
- Méndez, V. M. V. 2004. Comportamiento de cebadas forrajeras imberbes (*Hordeum vulgare* L.) a través de cuatro ambientes. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Mendoza, M., Cortez E., Rivera J. G., Rangel J. A., Andrio E., y F. Cervantes. 2011. Época y densidad de siembra en la producción y calidad de semilla de triticale (*X Triticum secale* Wittmack). *Agron. Mesoamericana* 22: 309-316.
- Meza, Z. 2005. Evaluación de variedad de maíz y densidad de siembra en la producción de forraje verde hidropónico. Tesis Licenciatura. San Nicolás: UANL
- Muriado, J., Velez, J. P. Salvatierra, P., Scaramuzza, F., & Villarroel, D. 2016. Evaluación de la predicción de rendimiento de la dosis de nitrógeno basada en sensores en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L). Córdoba, Argentina. UNVM
- Newman, R. y Newman, W. 2008. *Barley for food and health science, technology, and products*. Iowa, Us. John Wiley y Sons editors. P-262.
- Nelson, C.; Rosegrant, M.; Koo, J.; Robertson, R.; Sulser, T.; Zhu, T.; Ringler, C.; Msangi, S.; Palazo, A.; Batka, M.; Magalhaes, M.; Valmonte-Santos, R.; Ewing, M. y Lee, D. 2009. Cambio climático: el impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre políticas alimentarias IPFRI. 30 p.

- Olsen, KM, Wendel JF. 2013. A bountiful harvest: Genomic insights into crop domestication phenotypes. *Annu Rev Plant Biol* 64: 47–70.
- Pedraza, H., y Dicovskyi, L. 2007. Sistema de análisis estadístico con SPSS. INTA. Managua: IICA
- Pérez-Ruiz, J., M. Zamora-Díaz, J. A. Mejía-Contreras, A. Hernández-Livera, and S. Solano-Hernández. 2016. Assessment of ten barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) sown crop yield and water use efficiency. *Int. J. Academic Res.* 31: 720-726.
- Poehlman, J.M 1981. Mejoramiento genético de las cosechas. Ed: LIMUSA México.
- UAAAN. 2011. Campos experimentales. Dirección de Investigación. Subdirección de Operación de Proyectos, 3-4, http://www.uaaan.mx/investigacion/comeaa/Campos_Experimentales_2011.pdf.
- Rasmusson, D.C. 1985. Barley. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Publishers, Madison, Wisconsin. 522p.
- Ramirez, M. C. 2017. Asociación entre la temperatura de planta y el NDVI con los componentes de rendimiento en trigos duros (*Triticum durum* L.). Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Ramírez-Ordóñez, S.; Domínguez-Díaz, D.; Salmerón-Zamora, J. J.; Villalobos-Villalobos, G. y Ortega-Gutiérrez, J. A. 2013. Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(4):395-403.
- Ramírez, P. L. O. 2018. Producción de materia seca y correlaciones entre componentes forrajeros, temperatura de planta y NDVI en Cebada. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

- Reynolds, M. P., Pask, A. J. D., Mullan D. M. y Chávez –Dulanto P. N. (Eds.). 2013. Fitomejoramiento Fisiológico I: Enfoques Interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo. México, D.F.: CIMMYT
- Riggs, T.J., Hanson, P.R., Start, N.D., Miles, D.M., Morgan, C.L. and Ford, M.A. 1981. Comparison of spring barley varieties grown in England and Wales between 1880 and 1980. *J. Agric. Sci.*, 97: 599-610.
- Rivera, RJG; Cortez, BE; Urbina, AR; Andrio, EE. 1997. Componentes de rendimiento de trigo (*Triticum aestivum*.L.) variedad Salamanca S75. In VII congreso nacional y desarrollo Tecnológico Agropecuario. DGETA (Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria). Morelia, Michoacán. p. 106.
- Robles, S. R, 1990. Producción de granos y forrajes. 5ta Edición. Editorial Limusa. México. Pág. 267-284.
- Sánchez, C.M.G., V.M. Zamora, V., M.A. Torres, T., M Colín., R., Díaz., D.J.I., M.A. Jaramillo, S. y H. de León, C. 2018. Comportamiento de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) para su aplicación en cultivo ecológico. Sociedad Española de Agricultura Ecológica; Gijon, Tomo 1, 685-689.
- SAS. 1989. SAS/STAT User's guide. Versión 6. Fourth edition. SAS Institute Inc., Cary, NC
- Serna-Saldivar, S.R.O. 2001. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor, México D.F. pp 3-23.
- SIAP. 2016. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Pp 58-59.
- Solís, M. E., Díaz. L. T., J. G. 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro. *Terra Latinoamericana*, octubre-diciembre, 375-388.
- Teal, R.K., Tubana, B., Girma, K., Freeman, K.W., Arnall, D.B., Walsh, O. and Raun, W.R. 2006. In-season prediction of corn yield potential using Normalized Difference Vegetation Index. *Agron. J.* 98: 1488-1494.

- Ventura, J.; Pulgar, R. 1990. Efecto de densidades de siembra y frecuencias de corte sobre los componentes de producción de forraje de yuca *Manihot esculenta Crantz*. Revista de Agronomía: Vol. 7; p.229-243.
- Warrem, H. L. and J. H. Martin. 1970. Cereal crops. 4 reimpression. The McMillon. Londres Inglaterra. 8:478-543.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. y Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, Volume 14. 415-421.
- Zamora, D. M.; Pérez, R. J.; Huerta, A. R.; López, C. M.; Gómez, M. R. y Rojas, M. I. 2017. Maravilla: variedad de cebada forrajera para Valles Altos de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 8(6):1449-1454.
- Zuñiga, E, J. C.1987. Comparación de diferentes características cualitativas y correlacionales en cebadas de dos hileras (*Hordeum distichum*) y de seis hileras (*Hordeum vulgare*). Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.