

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Respuesta de Variables Agronómicas y Tecnología de Infrarrojos a La Fertilización
Nitrogenada en Dos Cebadas Forrajeras.

Por:

JESSICA MARLENE OROZCO ORTIZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2019.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Respuesta de Variables Agronómicas y Tecnología de Infrarrojos a La Fertilización
Nitrogenada en Dos Cebadas Forrajeras.

Por:

JESSICA MARLENE OROZCO ORTIZ

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

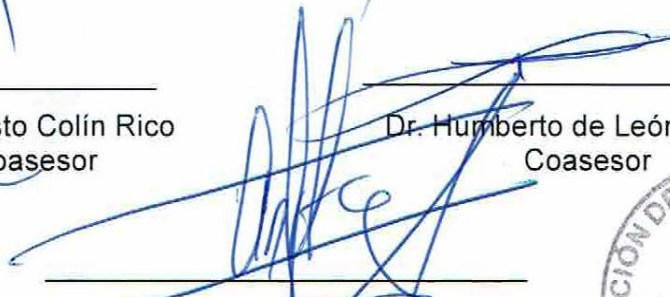
Aprobada por el Comité de Asesoría.



Dr. Víctor Manuel Zamora Villa
Asesor Principal



M. C. Modesto Colín Rico
Coasesor



Dr. Humberto de León Castillo
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2019

DEDICATORIAS

Con amor y respeto a mis padres.

A mi madre y mi mejor amiga **Esperanza Ortiz Flores**. Por todo el amor incondicional, por estar siempre a mi lado, gracias por estar ahí cuando las cosas se ponían difíciles, siempre supiste impulsarme a seguir en el camino, esto es para ti. Gracias reina. Te amo.

A mi padre **Juan Miguel Orozco Reséndiz**. Por toda la paciencia que me tuviste, gracias por estar siempre cuando te necesite y por las palabras que siempre tenías preparadas para mí, gracias por creer en mí. Te amo.

A mi hermana, compañera, amiga y cómplice **Ana Karen Orozco Ortiz**. Gracias por estar conmigo, por los buenos y malos consejos, siempre serás mi confidente y parte fundamental en mi vida.

A mi gordito, mi primito **Francisco Manuel Ortiz Larios†** en especial a ti, porque junto con la mano de Dios estuviste a mi lado, gracias por ser mi angelito, el más bello y maravilloso.

A mi abuela **Esperanza Ortiz Flores** por estar orgullosa de mí siempre, por el amor y la comida, por las oraciones y la sabiduría, gracias.

A mi abuelo, **Porfirio Ortiz Aguilar†** por creer en mí, por cuidar de tu familia desde lo más lejano, gracias por ser el pilar de esta familia.

A mis sobrinitos **Amaya Danae Díaz Orozco** y **Liam David Díaz Orozco** por llegar a mi vida y alegrar cada día.

A mis tíos **Francisco Ortiz**, **Ernesto Ortiz** y **Oscar Ortiz** por creer en mí, siempre serán parte fundamental en mi vida, gracias.

A mi tía **Arcelia Ortiz** siempre serás un ejemplo a seguir, eres parte de mi inspiración como persona y como una mujer independiente y trabajadora, gracias.

A mis tías **Claudia Larios** y **Lindsay Salcedo** por estar ahí, como amigas y como familia.

Este logro se lo dedico a mis amados padres **Esperanza** y **Juan Miguel**, Dios me dio la fortuna de contar con ustedes siempre, como amigos y como padres, son unos extraordinarios padres. Siempre han sido mi motivación y mi inspiración, se esforzaron día a día por darme la educación desde el hogar y ahora profesional, sé que en más de una ocasión se quitaron algo para dármelo a mí y estaré infinitamente agradecida con ustedes. ¡LOS AMO INFINITAMENTE!

AGRADECIMIENTOS

A mis padres **Esperanza** y **Juan Miguel**, por estar conmigo en cada momento, por amarme y apoyarme ¡INFINITAS GRACIAS!

A mi “**Alma Terra Mater**” por haberme dado las herramientas para convertirme en Ingeniero Agrónomo en Producción.

Al **Dr. Víctor Manuel Zamora Villa**. Por compartir sus conocimientos, por la confianza brindada, por la paciencia, por el gran apoyo que me brindó en este logro, por su gran dedicación y disponibilidad, por su tiempo y su gran amistad. Gracias.

Al **M.C Modesto Colín Rico** por el apoyo brindado para concluir este logro, por el tiempo y la sabiduría.

Al **Dr. Humberto de León Castillo** por los conocimientos compartidos desde el aula hasta el campo, por ser un excelente Dr. profesor y amigo. Por ser un ejemplo a seguir tanto profesional como personal, me llevo sus valiosos consejos y su amistad.

Al **Ing. Raúl Gándara Huitron**, por ser un amigo, un profesor y un compañero, Gracias.

A la familia **Rivera Solís** porque lejos de casa encontré esta familia, que me acogió como una hija, y me brindó el amor y el apoyo a lo largo de mi carrera. ¡Gracias infinitas!

A la familia **Aguilar González** por demostrarme el valor de la amistad, por el apoyo y por su compañía.

A mis **Amigos (as)**. Mis **buitres**.

Osbel Romo Castro, Daniela Iridian Avilés Pérez, Adán Vázquez González, Jesús Gpe. Izaguirre Castillo, Luz Leticia Rivera Solís, Sandra Cordero García, Steven Alejandro Velasco Cervantes, Hugo Franco Luna, Mirna Sánchez, Brenda Vázquez, Noé del Toro.

Gracias por la compañía y porque de cada uno de ustedes me llevo momentos que valen la pena recordar, En la universidad conocí mis verdaderos amigos, han dejado huella en mi vida, ¡Gracias por tanto!

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Origen geográfico de la cebada.....	5
Clasificación taxonómica.....	6
Descripción botánica de la cebada.....	6
Condiciones ecológicas y edáficas.....	8
Fertilización.....	8
Estadísticas de producción de forraje durante el ciclo invierno.....	10
Importancia de la cebada.....	11
Aprovechamientos de la cebada.....	11
Exigencias de la cebada.....	12
Requerimientos nutricionales.....	13
Abonado.....	13
Efecto del nitrógeno en la planta.....	15

Respuesta al contenido de clorofila	16
Técnicas para determinar clorofila	16
Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	17
Temperatura del dosel.	18
Máximos y mínimos	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
Localización y descripción del sitio experimental.....	19
Material genético.....	19
Preparación del terreno	20
Densidad y método de siembra	20
Fertilización.....	20
Fecha de siembra	20
Muestreos	21
Parcela experimental	21
Variables evaluadas.....	21
Temperatura (TEMP)	21
Altura de la planta (ALTURA).....	21
Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	22
Etapas fenológicas (ETAPA)	22
Cobertura (COB).....	22
Clorofila (CLORO).....	22
Diseño experimental	23
Análisis estadístico	23
Análisis de varianza combinado.....	24
Comparación de medias	25

Análisis de Regresión.	26
Correlaciones.....	27
Máximos y mínimos.	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
Análisis de varianza para el genotipo CANI85.....	29
Comparación de medias (TRAT)	30
Análisis de regresión.....	32
Correlaciones.....	33
Análisis de varianza para el genotipo GABYAN95.....	35
Comparación de medias de los tratamientos	36
Análisis de regresión.....	38
Correlaciones.....	39
V. CONCLUSIONES	44
VI. LITERATURA CITADA.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

2.1	Extracción de nutrientes por la cebada.....	9
2.2	Principales estados productores de cebada en México.....	10
3.1	Características del análisis de varianza individual para las diferentes variables estudiadas.....	24
4.1	Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para el genotipo CANI85.....	29
4.2	Resultados de la comparación de medias (DMS al 0.05) para los tratamientos en las variables evaluadas.....	32
4.3	Ecuación de respuesta y coeficiente de determinación (R^2) de la variedad CANI 85, en las variables evaluadas.....	33
4.4	Correlaciones entre pares de variables evaluadas del genotipo CANI85.....	34
4.5	Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para el genotipo GABYAN95.....	35
4.6	Resultados de la comparación de medias (DMS al 0.05) para los, tratamientos en las variables evaluadas.....	38
4.7	Ecuación de respuesta y coeficiente de determinación (R^2) de la variedad GABYAN 95, en las variables evaluadas.....	39
4.8	Correlaciones entre variables evaluadas del genotipo GABYAN95.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

4.1	Valores de la variable NDVI a través de los muestreos y tratamientos de fertilización nitrogenada en CANI85 y GABYAN95.....	41
4.2	Valores de la variable Clorofila a través de los muestreos y tratamientos de fertilización nitrogenada en CANI85 y GABYAN95.....	42
4.3	Valores a través de los muestreos de la etapa fenológica y tratamientos de fertilización nitrogenada en CANI85 y GABYAN95.....	43

RESUMEN

Dos genotipos de cebada forrajera (CANI85 y GABYAN95) se establecieron bajo dosis de fertilización nitrogenada de: 0, 60, 120, 180, 240 unidades de nitrógeno por hectárea usando sulfato de amonio como fuente de dicho elemento, más 80 unidades de fósforo usando fosfato monoamónico (MAP), durante el verano del 2018 en Navidad, N.L., con el objetivo de evaluar la respuesta de variables agronómicas y tecnología de infrarrojos a la fertilización nitrogenada en dos cebadas forrajeras. A partir de la floración se evaluaron semanalmente las variables agronómicas; Altura, Etapa y cobertura (Cob), así como el uso de tecnología de infrarrojos para determinar el Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, (NDVI) el contenido de Clorofila (Cloro) y la Temperatura Dosel (Temp) de ambos genotipos, realizando un total de seis determinaciones hasta que la planta alcanzó la madurez fisiológica. La siembra se realizó manualmente a chorrillo a una densidad de siembra de 120 kg ha⁻¹, la parcela experimental fue de 6.3m² (6 hileras de 3 m de longitud a 0.35 m entre hieras). Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Con los datos adquiridos se realizaron análisis de varianza ANVA como parcelas divididas para cada uno de los genotipos, considerando los muestreos como parcela grande y los genotipos como parcela chica, análisis de regresión, correlaciones y determinación de tiempos máximos en variables. En el análisis de varianza ANVA para los dos genotipos resultaron diferencias significativas en todas las variables para muestreos y tratamientos. Con las medias de las variables obtenidas a través de los muestreos, se realizaron análisis de regresión, explorando la respuesta lineal y cuadrática para establecer de que grado fue dicha respuesta en todas las variables, lo cual manifestó en los dos genotipos una respuesta tipo cuadrática solo para las variables etapa, clorofila y NDVI, las cuales tuvieron valores mayores a 70 % de coeficiente de determinación. En la variedad CANI85 se detectaron correlaciones positivas y significativas en dos pares de variables y negativas y significativas en un par. En la variedad GABYAN95 se detectaron correlaciones positivas y significativas en 8 pares de variables y negativas y significativas en 7 pares. Con base a que las

variables NDVI, clorofila y etapa obtuvieron mejores valores de los análisis realizados, se graficaron y se detectó que el NDVI en el genotipo CANI85 tuvo un mejor comportamiento aun en etapas avanzadas, superando a GABYAN95. En el contenido de clorofila GABYAN95 en los primeros tres muestreos presentó mejor comportamiento, y en los últimos CANI85 manifestó los mejores valores. En GABYAN95 se observó mayor precocidad que CANI85, sin embargo, en el último muestreo los tratamientos no tuvieron diferencias en ambos genotipos. El genotipo CANI85 mostró una mejor respuesta en comparación con GABYAN95 en el contenido de clorofila y NDVI. Existen alternativas para la determinación del NDVI, como lo es el uso de sensores remotos (Green Seeker) el cual resultó una herramienta útil para conocer la condición del cultivo y además se relaciona positivamente con el contenido de clorofila.

Palabras clave: *cebada forrajera, fertilización nitrogenada, contenido de clorofila, NDVI.*

I. INTRODUCCIÓN

La producción de forrajes, es un proceso de transformación de materia inorgánica en materia orgánica en presencia de radiación solar. Muchos autores consideran que la producción de materia seca es un proceso de conversión de luz solar en energía química que se almacena primeramente en la planta y posteriormente consumida y utilizada por el animal (Clymont, 1974).

La principal utilización de los cereales en los países desarrollados es la alimentación animal como fuente energética ofreciendo una alternativa económica para que los productores desarrollen sistemas de producción animal sostenibles. Prácticamente toda la planta es utilizable cosechándola antes de su madurez para ofrecerla como forraje verde, en forma de ensilado, heno y el subproducto de la cosecha del grano como el rastrojo. Además del consumo del grano entero o el grano triturado incorporado en las raciones balanceadas (Santoyo y Quiroz, 2010).

La cebada *Hordeum vulgare* L. es uno de los cultivos más antiguos, y ha desempeñado un importante rol en el desarrollo de la agricultura y en el de las ciencias como la agronomía, fisiología y genética (Ullrich, 2011).

La comarca lagunera es la principal cuenca lechera del país y debido a que en esta región ocurren altas evaporaciones durante la primavera y verano una opción para evitarlas es realizando siembras en invierno, lo cual favorece el uso de cereales y/o leguminosas para satisfacer la demanda de forraje con adecuada calidad.

Los cereales de invierno, en particular los cultivos de avena, cebada y trigo, representan actualmente una de las alternativas estratégicas más promisorias destinadas a conservar forrajes de alto valor nutricional para los más exigentes modelos intensivos de producción de carne y leche. Los ensilajes de estos recursos son fuente de diversos principios nutricionales como fibra, energía y proteínas. Sin embargo, para conservar adecuadamente la mayor cantidad de nutrientes se deben aplicar durante todo el proceso, desde la implantación del cultivo hasta el suministro,

tecnologías compatibles con las premisas básicas conceptuales de la "agricultura de precisión". (Gallardo, 2010).

Ante una economía globalizada es trascendental realizar una predicción temprana del rendimiento de los cultivos. Para definir políticas macroeconómicas y de seguridad alimentaria, se requiere calibrar índices con el uso de imágenes de satélite, que estiman variables biofísicas que determinan el rendimiento de los cultivos. (Exebio, 2005).

El uso de infrarrojos fotográficos (IR) y combinaciones lineales rojas para monitorear la biomasa de la vegetación y el estado fisiológico se han convertido recientemente en algo común en la comunidad de sensores remotos. La información cuantitativa con respecto a las diversas IR y combinaciones lineales rojas y las restricciones involucradas en el uso de estos métodos permitirá una aplicación más ventajosa de estas técnicas. También evitará el uso excesivo de estas técnicas cuando otros métodos sean más aplicables (Tucker, 1979).

El índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Aplicando a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad de verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo. El NDVI es un índice no dimensional, y por lo tanto sus valores van de -1 a +1.

En la práctica, los valores que están por debajo de 0,1 corresponden a los cuerpos de agua y a la tierra desnuda, mientras que los valores más altos son indicadores de la actividad fotosintética de las zonas de matorral, el bosque templado, la selva y la actividad agrícola (Meneses, 2011).

El contenido de clorofila en las hojas es un parámetro muy útil para evaluar el estado fisiológico de las plantas. Todas las hojas verdes presentan mayor capacidad de absorción en el rango de 400 - 700 nm, en donde sucede la transmisión de electrones entre clorofilas y carotenos (Zhang et al. 2007).

El contenido pigmentos fotosintéticos puede cambiar como respuesta a factores causantes de estrés, a la capacidad fotosintética o al estado de desarrollo de la planta.

Para el desarrollo normal de cualquier cultivo, entre los que está la cebada, se requiere carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, cinc, cobre, molibdeno, boro y cloro. Los nutrimentos requeridos en mayor cantidad son nitrógeno, fósforo y potasio. Los demás se requieren en menores cantidades y por lo regular son abastecidos por el suelo. El carbono, hidrógeno y oxígeno se obtienen del agua y de la atmósfera (Mora, 2004).

El nitrógeno (N) es un nutriente especial y en la medida que el mejoramiento genético ha elevado el potencial de rendimiento de los cultivos, crece su demanda y, por lo tanto, la fertilización nitrogenada pasa a ser determinante de la variación del rendimiento en granos de los cereales (Sinclair y Horie, 1989; Salvagiotti et al., 2009).

El Programa de Cereales de la UAAAN ha desarrollado nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera y recientemente se registró la variedad GABYAN95, misma que se utilizó como progenitor de la línea CANI85 con características similares a su progenitora y que mantiene verde su follaje por mayor tiempo. Por ello se plantearon el siguiente objetivo general y objetivos específicos:

Objetivo general

Evaluar la respuesta de variables agronómicas y tecnología de infrarrojos a la fertilización nitrogenada en dos cebadas forrajeras.

Objetivos específicos

- Comparar la respuesta a la fertilización nitrogenada en dos genotipos de cebada CANI85 y GABYAN95
- Determinar mediante tecnología de infrarrojos la temperatura del dosel, el contenido de clorofila y el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) de las dos cebadas.

Hipótesis

- Al menos uno de los genotipos de cebada, exhibirá un comportamiento positivo a la fertilización nitrogenada en las variables evaluadas.
- La tecnología de infrarrojos será una herramienta para facilitar la toma de datos en al menos un genotipo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Origen geográfico de la cebada

La cebada ocupa el cuarto lugar en importancia entre los cereales, después del trigo, maíz y arroz. Se cree que fue una de las primeras plantas domesticadas al comienzo de la agricultura. La causa de que la cebada continúe siendo un cereal importante, después de tantos siglos de cultivo, se debe a su amplia adaptación ecológica, a su utilización, tanto para alimentación animal como humana y a la alta calidad de la malta de cebada para la fabricación de cerveza. En las últimas décadas el área cultivada de cebada en el mundo se ha incrementado más rápidamente que la del trigo y el arroz, y la evolución de sus rendimientos ha sido superior al arroz e inferior al maíz y el trigo. (López, 1991).

Según Brucher y Aberg, citados por Hughes y Henson, existen dos probables centros de origen, siendo uno de ellos Abisinia y el otro el sureste de Tibet, donde crece la cebada de forma silvestre. (Hughes, *et al.* 1957).

Poehlman (1971) cita que vavilov ha descrito dos centros de origen de la cebada. De un centro de Etiopía y Africa del Norte proceden muchas de las variedades cubiertas con barbas largas, mientras que del otro centro, China, Japòn, y el Tibet, proceden las variedades desnudas, barbas cortas o sin barbas, y los tipos con granos cubiertos por caperuzas.

Clasificación taxonómica

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Subdivisión	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Subclase	Monocotiledóneas
Grupo	Glumiflora
Orden	Graminales
Familia	Poaceae
Genero	<i>Hordeum</i>
Especie	<i>Vulgare</i>

Descripción botánica de la cebada

La cebada pertenece, como el trigo, a la familia de las gramíneas.

Las espiguillas se encuentran unidas directamente del raquis, dispuestas de forma que se recubren unas con otras. Las glumas son alargadas y agudas en su vértice y las glumillas están adheridas al grano, salvo en la cebada conocida por <desnuda>. Las glumillas se prolongan por medio de una arista (Guerrero, 1999).

La cebada tiene un hábito de crecimiento anual, con tendencias a convertirse en perenne bajo condiciones muy especiales. Existen variedades de cebada de primavera e invierno. Las primeras tienen un ciclo vegetativo corto, de 60 a 70 días. Se siembran a fines de invierno o a principios de primavera, usándose principalmente para la producción de grano. Las variedades de invierno poseen un

ciclo hasta de 180 días, utilizándose principalmente para la producción de forraje. (Sands y Dickson, 1955).

Hojas

La cebada es una planta de hojas estrechas y color verde claro. La planta de cebada suele tener un color verde más claro que el del trigo y en los primeros estadios de su desarrollo la planta de trigo suele ser más erguida.

Raíz

El sistema radicular es fasciculado, fibroso y alcanza poca profundidad en comparación con el de otros cereales. Se estima que un 60% del peso de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm del suelo y que las raíces apenas alcanzan 1,20 m. de profundidad.

Tallo

El tallo es erecto, grueso, formado por unos seis u ocho entrenudos, los cuales son más anchos en la parte central que en los extremos junto a los nudos. La altura de los tallos depende de las variedades y oscila desde 0.50 cm. a un metro.

Fruto

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

Flores

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

Condiciones ecológicas y edáficas

- a) **Temperatura mínima:** 3 a 4 grados centígrados
Temperatura óptima: 20 grados centígrados
Temperatura máxima: 28 a 30 grados centígrados (Leonard *et al.* 1970)
- b) En cuanto a **humedad**, la cebada prospera bien en regiones secas, pero el cultivo de bajo condiciones de riego, no así en las húmedas y lluviosas cuyas condiciones favorecen a los Fitopatógenos.
- c) **Altitud:** de 0 a 3500 m sobre el nivel del mar. La cebada puede cultivarse a elevadas latitudes y altitudes. En las montañas rocosas tiene su límite a los 2500 m de altura y en los Andes a los 3500 m.
En Alaska alcanza una latitud de 65° LN y en la unión Soviética se extiende hasta la costa del Océano Ártico. (Hill, 1965.)
- d) **Suelos:** se ha observado que este cultivo se adapta a muy diversos tipos de climas y suelos, es una de las razones de su distribución mundial. Se ha reportado como tolerante a la alcalinidad en comparación con el trigo y la avena, prospera mejor que ambos en suelos de textura arenosa, no así en suelos con un pH ácido. Los mejores rendimientos se obtienen en suelos tipo migajón con buen drenaje, profundos y con un pH de 6 a 8.5.
- e) **Riegos:** cuando se lleva a cabo el cultivo de cebada de riego, hay que aplicar estos de acuerdo a las necesidades de la planta; pero en términos generales, se puede afirmar que la cebada es un poco menos exigente que el trigo.

Aunque no se puede precisar exactamente el número de riegos que requiere, porque ello depende del clima y del suelo principalmente, si podemos decir que en las condiciones más exigentes, con cuatro riegos se puede obtener una buena cosecha (Robles, 1990).

Fertilización

La dosis de fertilizante nitrogenado dependerá del rendimiento de cebada que se espera obtener y del nivel de nitrógeno disponible en el suelo. La respuesta al nitrógeno puede variar con el periodo de crecimiento del cultivo, la variedad,

el nitrógeno disponible en el suelo, que se relaciona con el nitrógeno residual del cultivo anterior y con las condiciones climáticas. El cultivo de la cebada extrae del suelo 2.4 kg de nitrógeno por cada 100 kg de grano producido.

Cuadro 2.1 Extracción de nutrientes por la cebada.

Nutriente	Kg de nutriente/ 100kg de cebada	
	Grano	Planta entera
Nitrógeno	1.6	2.4
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.8	1.1
Potasio (K ₂ O)	0.5	2.1
Magnesio (Mg O)	—	0.5
Azufre	—	0.4

(FAO, 1986, Domínguez Vivancos, 1989)

En climas semiáridos, típicos del cultivo de cebada, el análisis del nitrógeno nítrico residual en el suelo, antes de la siembra, ha mostrado ser un método útil para establecer la fertilización nitrogenada de la cebada, al existir una buena correlación entre dicha medida y el rendimiento. La profundidad de suelo recomendada para la toma de muestras varía entre 60 y 120 cm.

Con frecuencia el incremento del encamado, por altas dosis de nitrógeno, limita la respuesta al nitrógeno de algunas variedades de cebada. El empleo de reguladores de crecimiento permite obtener mejores respuestas (López, 1991).

Estadísticas de producción de forraje durante el ciclo invierno

Según el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola redactado por el SIAP en el año 2004 se reportó una producción nacional de **119,739.98 Ton** de cebada forrajera en el ciclo otoño-invierno siendo los estados de mayor producción Sonora y Coahuila.

Cuadro 2.2 Principales estados productores de cebada en México.

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)
Sonora	4,360.00	4,360.00	63,575.00	14.58
Coahuila	1,146.00	1,146.00	20,201.13	17.63
Hidalgo	547	545	10,747.00	19.72
Oaxaca	150	150	6,000.00	40
Zacatecas	258	258	5,238.00	20.3
Baja California	15,961.00	2,623.00	4,196.80	1.6
San Luis Potosí	550	530	3,176.80	5.99
Puebla	175	175	1,750.00	10
Veracruz	132	132	1,740.00	13.18
Guanajuato	62.5	62.5	1,443.00	23.09
México	42	42	846.25	20.15
Jalisco	39	39	702	18
Aguascalientes	4	4	100	25
Michoacán	2	2	24	12
	23,428.50	10,068.50	119,739.98	11.89

Fuente: SIAP, 2004

Para el año 2018 la superficie sembrada fue de **78,159 Ha** de las cuales se cosecharon **72,411 Ha** obteniendo una producción de **418,632 ton** y un rendimiento de **5.781ton/Ha**.

Importancia de la cebada

Los cereales de invierno representan importantes alternativas para sostener la producción ganadera en el noreste del país, poseen tolerancia a heladas durante el desarrollo vegetativo y su uso se ha extendido en los últimos años, utilizándolos en pastoreo, verdeo, henificado, picado y ensilado. (Hughes *et al.* 1974; Flores *et al.*, 1984 y Colín *et al.*, 2004).

El cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) ocupa el cuarto lugar en importancia entre los cereales, después del trigo, maíz y arroz. Tiene una gran diversidad de aplicaciones, entre las que cabe destacar la utilización en alimentación animal, bien como forraje asociada generalmente a una leguminosa, o formando parte de las dietas en forma de pienso (Fernández, 2011).

Aprovechamientos de la cebada

El grano de cebada suele destinarse a la alimentación del ganado, así como la paja de ésta.

La cebada se utiliza también para la fabricación de cerveza. Las variedades cerveceras suelen ser de dos carreras. La cebada cervecera debe poseer una capacidad germinativa del 95%, lo que implica que el grano debe recolectarse cuando esté bien maduro y seco y, además, debe estar bien conservado. La cebada cervecera no debe poseer un contenido alto en proteínas, por lo que, además de que la variedad suele ser adecuada en este aspecto, no debe abonarse fuertemente con nitrógeno, ya que las aportaciones de nitrógeno aumentan la cantidad de proteínas en el grano.

La cebada se emplea también como forrajera, sola o mezclada con avena en partes iguales. Para este fin se siembra muy temprano, en otoño, para que nazca en las primeras aguas y alcance un buen desarrollo antes de que vengan las lluvias, ya que se suele sembrar para aprovechamiento para el ganado <<a diente>> en el otoño y en el invierno. Si su aprovechamiento para el ganado como consumo <<a diente>> quiere hacerse algo más tardío en las regiones de otoños cálidos no debe sembrarse tan temprano, ya que si la planta está muy desarrollada cuando lleguen las heladas de invierno se huela (Guerrero, 1999).

Exigencias de la cebada

La cebada tiene un coeficiente de transpiración superior al trigo, aunque, por ser el ciclo más corto, la cantidad de agua absorbida es algo inferior.

La cebada tiene como ventaja que exige más agua al principio de su desarrollo que al final, por lo que es menos frecuente que en el trigo el riesgo de asurado. De ahí que se diga que la cebada es más resistente a la sequía que el trigo, y de hecho así es, a pesar de tener un coeficiente de transpiración más elevado.

Se da la cebada en tierras fértiles, pero puede tener buenas producciones en suelos poco profundos y pedregosos, con tal de que no falte el agua al comienzo de su desarrollo. Tolera bien el exceso de salinidad en el suelo.

En cuanto al calcio, la cebada es muy tolerante, vegetando bien incluso en suelos muy calizos, por lo que muchas veces a este tipo de suelos es corriente llamarlos <<cebaderos>>, si bien tiene un amplio margen en cuanto a tolerancia de diferentes valores de pH.

Le perjudican los suelos encharcados. Quizá por esta razón no le son apropiados los terrenos muy arcillosos, ya que son terrenos que drenan mal en invierno (Guerrero, 1999).

Requerimientos nutricionales

Las plantas requieren cantidades equilibradas de nutrientes que deben ser satisfechas con una fertilización balanceada. Son indispensables herramientas adecuadas para evaluar la disponibilidad en el suelo y el estado nutricional de la planta, que permitan interpretar y calibrar la necesidad del cultivo. Errores en la detección de deficiencias resultan en rendimientos menores al potencial o en la aplicación innecesaria y/o excesiva de fertilizantes, causando un perjuicio económico y ambiental (Landriscini, *et al.* 2010).

Abonado

El ritmo de absorción de materias minerales en la cebada es muy elevado al comienzo de la fase vegetativa, disminuyendo después hasta llegar a anularse, habiéndose observado incluso, en algunos casos, excreciones radiculares de la vegetación.

La cebada ha de cuidarse especialmente no hacer aportaciones elevadas de nitrógeno, ya que es muy sensible al encamado. También hay que tener en cuenta que la cebada destinada a la alimentación de ganado, la riqueza en proteínas es mayor cuando han sido mayores las aportaciones de nitrógeno en el abonado.

El fósforo lo absorbe sobre todo al comienzo de la vegetación, estando su absorción ligada también a la del nitrógeno.

Como el trigo, el fósforo tiene una influencia decisiva sobre el rendimiento en grano de cebada.

La extracción media de la cebada en elementos nutritivos, por hectárea y tonelada producida, es la siguiente:

26 kg de N.

20,5 kg de $P_2 O_5$.

25 kg de $K_2 O$.

Para producir un abonado racional de una cebada se tiene que tener en cuenta lo siguiente:

1. En la cebada hay que tener muy presente no pasarse en abonado nitrogenado para no producir encamado.
2. Hay que tener en cuenta que parte del nitrógeno se lava por la lluvia, lo que ocurre más en las formas nítricas que las amoniacales, ya que en las amoniacales, para lavarse, ha de transformarse en nitrato por la acción de los microorganismos del suelo.
3. El fósforo no se lava, pero si retrograda en un buen porcentaje, pasando a formas inasimilables. Esto es especialmente digno de tener en cuenta pensando que la cebada suele sembrarse en terrenos calizos.
4. El potasio tampoco se lava por las aguas de la lluvia.

Teniendo esto en cuenta, para una producción de 2.500 kg/ha, un abono lógico sería de:

75 kg de N.

75 kg de $P_2 O_5$.

75 kg de $K_2 O$.

Todo este abonado puede ponerse de fondo y si parte de N se incorpora en cobertera, este abonado nitrogenado de cobertera debe hacerse temprano por dos razones: la primera, porque la cebada tiene mayor necesidad de los elementos nutritivos en la primera parte de su desarrollo; la segunda, porque el N tardío favorece más el acamado.

Es natural que una cebada que vaya en segunda o tercera paja admitirá más nitrógeno que la que vaya sobre barbecho, especialmente si éste ha sido ocupado por una leguminosa.

La dosis recomendable de N se ha dicho pensando en la restitución del suelo de los elementos obtenidos por la cosecha, pero hemos de hacer las modificaciones, pertinentes según sea el contenido de los diferentes elementos en el suelo y también según se haya añadido o no estiércol y según sea la naturaleza del cultivo anterior (Guerrero, 1999).

Efecto del nitrógeno en la planta

El nitrógeno (N) es considerado el nutriente más importante para la producción vegetal debido a las cantidades requeridas por los cultivos y a la frecuencia con que se observan deficiencias en suelos agrícolas. Por lo tanto, la agricultura de altos rendimientos depende del uso de fertilizantes nitrogenados. El diagnóstico de las necesidades de N de los cultivos para alcanzar el máximo rendimiento biológico y/o económico a nivel específico de lote y/o zona de lote, contribuye a: i) maximizar la eficiencia de uso de N aplicado y el retorno de la inversión, y ii) a reducir los impactos ambientales que se generan tanto con aplicaciones excesivas (contaminación del suelo, aire y agua) como con aplicaciones deficientes (degradación del suelo por disminución de las reservas naturales de N, fundamentalmente de N orgánico) (García y Daverede, 2008).

La importancia del N en la producción agrícola genera numerosas investigaciones y experimentaciones en la búsqueda de métodos de diagnóstico de la fertilidad

nitrogenada para recomendaciones de fertilización. En general, los métodos de diagnóstico que pretenden predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada se basan en la disponibilidad de N en suelo y/o en la planta y el requerimiento previsto para un determinado nivel de rendimiento (García y Daverede, 2008).

Respuesta al contenido de clorofila

El contenido en clorofila juega un papel importante en las plantas cultivadas ya que está positivamente correlacionado con la fotosíntesis (Gummuluru *et al.* 1989), por tanto, la reducción en el contenido en clorofila puede ser considerada como una respuesta de las plantas al estrés (Tenga *et al.* 1989). Esta reducción de la clorofila puede perjudicar el proceso fotosintético conduciendo a una reducción en la fijación de carbono, de ahí la importancia de conocer el contenido en clorofilas de las plantas cuando las condiciones medioambientales no son óptimas.

Técnicas para determinar clorofila

Para estimar la clorofila existen diferentes métodos, procedimientos y modelos matemáticos desarrollados con el objeto de minimizar los errores ocasionados por la presencia de otros pigmentos fotosintéticos y de algunos compuestos químicos en el agua (APHA, 1998).

Para cuantificar la clorofila, se reportan en la literatura diferentes solventes (acetona, metanol, etanol, entre otros) y procedimientos de extracción (maceración, sonicación, calentamiento y congelamiento), además de la aplicación de ecuaciones (monodi- y tricromáticas) que utilizan distintas longitudes de onda (Banderas *et al.*, 1991; Pérez *et al.*, 2002; Ramírez y Alcaráz, 2002).

El contenido de clorofila se puede medir de manera rápida y no destructiva usando un medidor óptico portable de mano, el cual mide el contenido de clorofila a través

de la transmitancia de la luz, esto sirve como apoyo para determinar un aproximado del potencial fotosintético de la planta, ya que la planta al presentar clorosis es un indicativo del estrés inducido por diferentes factores como el calor, sequía, salinidad, deficiencia nutricional, envejecimiento, etc., y por consecuencia refleja una pérdida del potencial fotosintético de la planta (Pask *et al.*, 2012).

Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)

La aparición de sistemas de posicionamiento global (GPS) precisos y relativamente económicos, combinados con monitores de rendimiento, proveen la oportunidad de grabar y mapear instantáneamente los rendimientos de los cultivos durante la cosecha (Zajac, *et al.* 2013).

Como apoyo en la selección de nuevos genotipos con características deseables, se ha popularizado el empleo de sensores infrarrojos para determinar la presencia y condición de la vegetación mediante el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) y contenido de clorofila basados en tecnología de infrarrojos, relacionando altos valores del NDVI con la biomasa producida (Cabrera-Bosquet *et al.*, 2011; Pask *et al.*, 2012).

Una herramienta que permite monitorear la nutrición nitrogenada tanto en trigo como en cebada es el uso de los sensores remotos. Si bien se han evaluado distintos sensores, los más estudiados en la región pampeana son las cámaras multiespectrales y el GreenSeeker. Estas herramientas basan su funcionamiento en sensores ópticos que miden la reflectancia del canopy en las bandas del rojo (R) e infrarrojo cercano (IR), expresando los resultados como un Índice de Vegetación Normalizado ($NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$). La utilización de este método requiere la preparación de franjas de suficiencia de nitrógeno (sectores del lote en los cuales se aplica una dosis inicial de nitrógeno elevada para asegurar condiciones no limitantes del nutriente). Una vez que los cultivos alcanzan suficiente acumulación de biomasa (desde macollaje en adelante), se determina el NDVI de referencia en

las franjas de suficiencia de N y en el resto del lote a fertilizar pasando el sensor por encima del canopeo. Finalmente, con los valores de NDVI así obtenidos, se puede determinar las deficiencias de nitrógeno incluso según distintas zonas dentro de un lote (Sabando y Ross, 2013).

Temperatura del dosel.

La temperatura del dosel de una planta es resultado de un complejo equilibrio en el que están involucrados una serie de 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 atmosfera, mecanismos fisiológicos de la planta y la humedad del suelo (Houspampscian, *et al.* 1990).

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 Solis y Diaz (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.

Máximos y mínimos

La técnica de los máximos y mínimos es un estudio simple que proviene del cálculo elemental. Se soporta en el hecho de que, en los puntos máximos o mínimos de una función, su gradiente es cero, es decir, la pendiente en todas las posibles direcciones es cero. Para el caso de funciones de una variable, los máximos y

mínimos se detectan igualando la derivada cero y observando el signo de la segunda derivada, pues está cuantificada la curvatura de la función y por tanto permite distinguir entre máximos y mínimos (Sanint, 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del sitio experimental

El presente trabajo se llevó a cabo durante el verano de 2018 en el Campo Experimental de Navidad, N.L. de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicado en el municipio de Galeana, N.L.

Esta localidad se ubica geográficamente a 28° 33' latitud Norte y a 100° 55' longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y a una altitud de 1895 msnm. Una temperatura media mínima anual de 15 a 16° c, con una media máxima anual de 28° c, con una precipitación pluvial de 350 a 400 mm.

Material genético

El material genético utilizado consistió en dos genotipos de cebada forrajera imberbe desarrolladas por el Programa de Cereales de la UAAAN: GABYAN95 registrada en el 2017 y una línea experimental: CANI85, proveniente de la cruce entre GABYAN95 y la variedad Esmeralda.

Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en las labores tradicionales utilizadas para el establecimiento de cereales de grano pequeño de invierno en las regiones donde se siembra bajo condiciones de riego, sembrándose en húmedo, manualmente.

Densidad y método de siembra

La densidad de siembra fue de 120 kg ha⁻¹, sembrándose manualmente a chorrillo.

Fertilización

Se aplicaron dosis de fertilización nitrogenada de: 0, 60, 120, 180 y 240 unidades de nitrógeno por hectárea, usando sulfato de amonio como fuente de dicho elemento, más 80 unidades de fósforo utilizando Fosfato Monoamónico (MAP) para suplir dicho nutriente; a la siembra se aplicó la mitad de la dosis de nitrógeno y todo el fósforo y en el primer riego de auxilio se aplicó el resto de nitrógeno con la misma fuente. Las malezas se controlaron manualmente, y no se aplicó ningún insecticida o fungicida.

Fecha de siembra

La siembra se realizó el 13 de junio de 2018

Muestreos

El primer muestreo se realizó a los 60 días después de la siembra (12 de agosto de 2018) tomando la primera lectura de los parámetros estudiados, continuándose semanalmente con las determinaciones hasta que los genotipos alcanzaron la madurez fisiológica, contabilizándose un total de seis lecturas o muestreos.

Parcela experimental

La parcela experimental constó de 6.3 m² (6 hileras de 3 m de longitud a 0.35 m entre hileras), considerando como parcela útil los cuatro surcos centrales.

VARIABLES EVALUADAS

Temperatura (TEMP)

Para obtener la temperatura, se utilizó un termómetro infrarrojo de marca FLUKE con precisión de ± 0.01 °C; esta variable se determinó en cada uno de los muestreos realizados en las parcelas divididas, para los dos genotipos de cebada.

Altura de la planta (ALTURA)

Se midió en cm tomando como referencia la parcela útil, en cada una de las parcelas divididas, considerando desde la superficie del suelo hasta la parte superior de las plantas.

Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

El Índice de Vegetación Diferencial Normalizado se determinó con un medidor portátil marca Trimble modelo Green Seeker, realizando una sola lectura en la parcela útil, en todas las parcelas divididas, en cada uno de los muestreos que se realizaron.

Etapa fenológica (ETAPA)

En cada muestreo se determinó la etapa fenológica de ambos genotipos, con la finalidad de registrar la precocidad de cada uno de ellos y establecer comparaciones, utilizando la escala de Zadocks (Zadoks *et al.*, 1974).

Cobertura (COB)

Para determinar la cobertura se consideró el porcentaje de terreno cubierto por el cultivo expresándose en %, es una variable determinada por apreciación visual.

Clorofila (CLORO)

El contenido de clorofila se midió con un determinador SPAD 502 marca Minolta. La clorofila se midió como promedio de diez lecturas realizadas en la hoja bandera de plantas tomadas al azar de la parcela útil. La lámina de riego total aproximada durante el ciclo del cultivo fue de 40 cm.

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza como parcelas divididas para cada uno de los genotipos, considerando los muestreos como parcela grande y los genotipos como parcela chica, para cada una de las variables evaluadas.

Este se realizó para cada localidad bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + r_j + l_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

t_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

r_j = Efecto de la la j-ésima repetición.

l_{ij} = Efecto del error experimental.

$i = 1 \dots t$ (número de tratamientos o variables).

$j = 1 \dots r$ (número de repeticiones)

Cuadro 3.1 Características del análisis de varianza individual para las diferentes variables estudiadas.

Fuente de variación.	Grados de libertad.	Suma de Cuadrados.	Cuadrados Medios.	F.C.
Tratamientos	t-1	$\sum \frac{Y_{i.}^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{rt}$	CM ₃	CM ₃ / CM ₁
Bloques	r-1	$\sum \frac{Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{rt}$	CM ₂	CM ₂ / CM ₁
Error experimental	(t-1)(r-1)	SC Total. - (SC _t + SC _B)	CM ₁	
Total	Tr-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{rt}$		

Análisis de varianza combinado

Este se realizó bajo e siguiente modelo estadístico:

$$Y_{IJK} = \mu + B_j + G_i + GC_{ij} + BK(j) + E_{ijk}$$

Y_{IJK}= Rendimiento promedio del i-ésimo genotipo obteniendo el j-ésimo muestreo y k-ésima repetición.

μ= Efecto de la media general.

B_j= Efecto del j-ésimo muestreo.

G_i= Efecto del i-ésimo genotipo.

GC_{ij}= Efecto de la interacción entre i-ésimo genotipo y el j-ésimo muestreo.

BK (j)= Efecto de la k-ésima repetición anidada en el j-ésimo muestreo.

E_{ijk}= Efecto aleatorio del error experimental asociado al i-ésimo genotipo en el j-ésimo muestreo y k-ésima repetición, según el modelo lineal aditivo.

Comparación de medias

Se realizaron pruebas de medias mediante DMS, para las variables evaluadas y posteriormente con los valores medios de los tratamientos en cada muestreo se realizó un análisis de regresión con el fin de determinar la respuesta de las variables a la fertilización nitrogenada y posteriormente se determinó su respuesta como promedio de todos los muestreos realizados.

$$W = t \sqrt{\frac{S \cdot 2CME}{r}}$$

Donde:

W: Valor de DMS

ts: Valor tabulado y (S) nivel de significancia

2CME: Cuadrado medio del error

r: Repeticiones.

Coefficiente de variación

Así mismo se calculó el coeficiente de variación para cada una de las variables estudiadas en la conducción del experimento, con la siguiente fórmula:

$$C.V = \sqrt{\frac{CMEE}{x}} \times 100$$

Donde:

C.V= Coeficiente de variación

CMEE= Cuadrado medio del error experimental

x= Media general

Análisis de Regresión.

Para el análisis de regresión se utilizó el paquete estadístico JMP versión 5.01, obteniendo la ecuación correspondiente a todas las variables evaluadas (Temperatura, altura, NDVI, etapa, cobertura, clorofila), una vez que la respuesta fue de tipo cuadrática, se obtuvo la segunda derivada de la función de regresión para las variables NDVI, etapa y clorofila de los dos genotipos, con el objetivo de conocer el valor máximo de las variables mencionadas en días.

La regresión lineal se puede considerar como un modelo razonable de la relación que existente entre un par de variables. Estas relaciones se pueden determinar con la siguiente ecuación:

$$Y = a + \beta x$$

Y= valor calculado

a= variable de entrada

β = variable de respuesta

e= error aleatorio

x= variable independiente.

Correlaciones.

Posteriormente se hicieron las correlaciones entre las diferentes variables estudiadas para conocer su grado de asociación, con la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}}$$

Donde;

r = Coeficiente de Correlación

$\sum XY$ = Suma de productos de las desviaciones de las variables X e Y.

$\sum X^2$ = Suma de los cuadrados de las desviaciones de la variable X.

$\sum Y^2$ = Suma de los cuadrados de las desviaciones de la variable Y.

Máximos y mínimos.

Sea una función f (x) y sus derivadas dy/ dx. Se iguala la expresión dy/dx a cero y se obtienen los puntos en los que esa condición se cumple. A continuación, se evalúa la segunda derivada d^2y/dx^2 y dependiendo del signo se concluye si es máximo o mínimo: (De la torre, 2005)

- Si $d^2y/dx^2 < 0$, se tiene un máximo, pues la concavidad es hacia abajo.
- Si $d^2y/dx^2 > 0$, se tienen un mínimo, pues la concavidad es hacia abajo.
- Si $d^2y/dx^2 = 0$, no se puede afirmar nada acerca de la función y es necesario analizarla más detenidamente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza para el genotipo CANI85

En el cuadro 4.1 se muestran los resultados del análisis de varianza que se realizó para el genotipo CANI85, donde indica que la fuente de variación de muestreo manifestó una diferencia altamente significativa en todas las variables evaluadas, lo cual establece que, para cada una de las variables, al avanzar en el tiempo su comportamiento fue distinto.

Entre los tratamientos se puede observar que también existieron diferencias altamente significativas en la mayoría de las variables, a excepción de la temperatura la cual solo mostró diferencias significativas, lo cual indica que las diferentes dosis de fertilización (TRAT) provocaron respuestas distintas en las variables evaluadas en el genotipo CANI85.

En la interacción tratamientos por muestreo solamente se encontró alta significancia en la etapa fenológica del cultivo. Lo que sugiere que a través de los muestreos realizados los tratamientos se comportaron de manera distinta.

Cuadro 4.1 Cuadros medios y significancia del análisis de varianza para el genotipo CANI85.

FV	GL	TEMP	ALTURA	NDVI	ETAPA	COB	COLORO
MUESTREO	5	42.80 **	468.13**	0.32 **	2957.48 **	285.61 **	514.70 **
REP(MUESTREO)	12	0.97 **	16.21 NS	0.003 NS	6.03 NS	40 NS	4.40 NS
TRAT	4	0.83 *	81.41**	0.08 **	121.94**	421.25 **	184.57 **
TRAT*MUESTREO	20	0.37 NS	11.77 NS	0.002 NS	26.28 **	12.42 NS	6.73 NS
ERROR	48	0,28	19,34	0,002	6,31	23,68	4,44

**= Significativo al 0.01 de probabilidad; *= Significativo al 0.05 de probabilidad; NS= No significativo; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; TEMP= Temperatura; NDVI=Índice de vegetación diferencial normalizado; COB= Cobertura; CLORO= Clorofila.

Comparación de medias (TRAT)

La comparación de medias (DMS al 0.05 %) de los tratamientos de fertilización nitrogenada que se presentan en el cuadro 4.2, mostraron que para temperatura del dosel (TEMP) se formaron 2 grupos de significancia, en el primer grupo se ubicaron los tratamientos 2 (60 unidades de nitrógeno), seguido del tratamiento 1 (0 unidades de nitrógeno) y posteriormente el tratamiento 5 (240 unidades de nitrógeno). En lo que respecta al valor más bajo en la variable TEMP fue obtenido por el tratamiento 4 (180 unidades de nitrógeno) con el valor correspondiente a 21.178°C. Las temperaturas oscilaron entre el rango de 21.689°C a 21.178°C.

Así mismo la prueba de comparación de medias para altura de planta (ALTURA), formó 3 grupos de significancia (cuadro 4.2), donde sobresalen como superiores los tratamientos 3, 4 y 5 (120,180 y 240 unidades de nitrógeno, respectivamente) con valores de 80.833, 78.778 y 78.056cm. El menor valor lo presentó el testigo absoluto con 75.556cm. En lo que se refiere a altura, los valores aquí vertidos confirman el efecto que se ha reportado para este nutriente como promotor del crecimiento de planta.

Campbell y Reece en 2007 mencionan que el nitrógeno es el mineral que ejerce mayor efecto sobre el crecimiento de las plantas.

Para el índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) se formaron 4 grupos de significancia estadística, destacando los tratamientos 5 y 4 los cuales tuvieron los valores más altos con 0.6016 y 0.572 respectivamente. Al igual que en la variable anterior el menor valor fue obtenido por el testigo con 0 unidades de nitrógeno y una lectura de 0.43056. En esta variable fue muy notorio el efecto de las diferentes dosis de fertilización (tratamientos) iniciando desde la mayor dosis que corresponde al tratamiento 5 (240 unidades de nitrógeno) descendiendo progresivamente hasta el tratamiento 1(0 unidades de nitrógeno).

Dichos resultados coinciden con García (2018) quien menciona que su experimento con fertilización nitrogenada registró en general valores significativamente mayores de NDVI que el experimento sin fertilización.

En la etapa fenológica (ETAPA), se obtuvieron 4 grupos de significancia, en el primer grupo se ubicó el tratamiento 1 (0 unidades de nitrógeno) y en el último grupo el tratamiento 5 (240 unidades de nitrógeno).

Los resultados presentados en el cuadro 4.2 sugieren que debido a la aplicación de nitrógeno la planta tiende a retrasar su maduración o avance en etapas fenológicas.

Perdomo y Barbazàn (1999) mencionan en su trabajo que la aplicación de altas dosis de N generalmente alarga el ciclo vegetativo de los cultivos, ya que en condiciones de alto suministro de N se desvían carbohidratos hacia el crecimiento vegetativo y se retarda la senescencia de las hojas.

Para la cobertura (COB), también se formaron 4 grupos de significancia, en los que se encontró que los tratamientos con los mayores valores fueron los siguientes, tratamiento 3 con un valor de 80.278 y tratamiento 4 con un valor de 79.722%. En la última posición apareció el tratamiento testigo con un valor de 68.889%. Para esta variable los tratamientos con dosis intermedias (120 y 180 unidades) obtuvieron una mayor cobertura dentro de la parcela útil, superando a las dosis bajas de fertilización ya que en el último grupo nuevamente se ubicó el testigo con 0 nitrógeno.

El contenido de clorofila (CLORO) presentó 4 grupos de significancia, en esta variable el comportamiento de los valores respecto a los tratamientos fue similar al presentado por el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) ya que en ambos los mayores valores se obtuvieron con el tratamientos 5. Este tratamiento registro un valor de 38.963 unidades spad. Los tratamientos 2 y 1 fueron los que tuvieron los menores valores con 33.551 y 30.670. Estos resultados sugieren que a mayor fertilización nitrogenada se obtendrán mayores contenidos de clorofila. Castillo y Ligarreto (2010) encontraron una buena relación entre el N foliar y el contenido de clorofila en el maíz y en el pasto, especialmente en el momento de llenado de grano.

Cuadro 4.2 Resultados de la comparación de medias (DMS al 0.05) para los tratamientos en las variables evaluadas.

	TEMP	ALTURA	NDVI	ETAPA	COB	COLORO
	2 21.689 a	3 80.833 a	5 .60167 a	1 78.944 a	3 80.278 a	5 38.963 a
	1 21.528 ab	4 78.778 ab	4 0.572 ab	2 76.944 b	4 79.722 ab	4 36.664 b
TRAT	5 21.433 ab	5 78.056 abc	3 0.549 b	3 74.833 c	5 76.944 b	3 36.402 b
	3 21.217 b	2 76.111 bc	2 0.49944 c	4 74.389 c	2 72.778 c	2 33.551 c
	4 21.178 b	1 75.556 c	1 0.43056 d	5 72.111 d	1 68.889 d	1 30.670 d

TEMP= Temperatura; NDVI=Índice de vegetación diferencial normalizado; COB= Cobertura; CLORO= Clorofila.

Análisis de regresión

Con las medias de las variables obtenidas a través de los muestreos, se realizaron análisis de regresión, explorando la respuesta lineal y cuadrática para establecer de qué grado fue dicha respuesta.

El comportamiento mostrado por CANI85 con respecto al análisis de regresión para las variables evaluadas fue de tipo cuadrática solo en las variables NDVI, Etapa y Clorofila (cuadro 4.3). Se obtuvieron sus coeficientes de determinación (R^2) y mediante el método de la segunda derivada, (Fermant, 1636) se procedió a determinar la existencia o ausencia de un máximo, reportándose los días en donde se presentó la máxima respuesta en el genotipo CANI85.

Los días en que el genotipo CANI85 presentó la mayor respuesta en el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) fue ubicado a los 60 días, con una R^2 de 0.79, lo que indica que un 79% del comportamiento de esta variable esta explicado en función de los muestreos. En la variable de etapa se presentó mayor respuesta al día 100, con una R^2 de 0.92. Esto se explica en función de los días transcurridos en los muestreos realizados, así conforme avanzaban los días se incrementaba la etapa fenológica.

En la variable clorofila se presentó un máximo el día 66, con una R^2 de 0.72 que se considera adecuada ya que nos explica más de un 70% del comportamiento de la clorofila a través de los muestreos.

Cuadro 4.3 Ecuación de respuesta y coeficiente de determinación (R^2) de la variedad CANI 85, en las variables evaluadas.

Variable	Ecuación de respuesta	R^2	Máximo (Días)
Temperatura	$33.667 - 0.327 x + 0.002 x^2$	0.03	
Altura	$- 57.958 + 3.259 x - 0.019 x^2$	0.61	
NDVI	$0.033 + 0.024 x - 0.0002 x^2$	0.79	60
Etapa	$- 147.763 + 4.815 x - 0.024 x^2$	0.92	100
Cobertura	$- 70.357 + 3.852 x - 0.025 x^2$	0.28	
Clorofila	$- 28.809 + 2.097 x - 0.016 x^2$	0.72	66

R^2 =Coeficiente de determinación.

Correlaciones

En el cuadro 4.4 se observan las correlaciones entre pares de variables y resaltan por su significancia al 0.05 de probabilidad, la relación negativa entre Etapa y el Índice de vegetación diferencial normalizado ($r=-0.98$) y entre la etapa y el contenido de clorofila ($r=-0.99$), interpretándose que a mayor Etapa menor NDVI y Clorofila. Debido a que la planta tiende a envejecer y perder su color verde.

La altura de planta se correlaciono positivamente con la cobertura ($r=0.93$), sugiriendo que las plantas más altas mostraron mayor cobertura; también se detectó la asociación positiva entre el contenido de clorofila y el NDVI ($r=0.99$), tal como lo han reportado Castellanos, *et al* (2017) en su investigación, donde mencionan que los valores de índice de verdor encontrados determinan un valor adecuado de clorofila. Lo cual es una asociación lógica esperada ya que ambas variables miden el verdor de la planta.

Cuadro 4.4 Correlaciones entre pares de variables evaluadas del genotipo CANI85.

	TEMP	ALT	NDVI	ETAPA	COB	COLORO
TEMP	1.00	-.85	-.56	.51	-.82	-.55
ALT	-.85	1.00	.69	-.64	.93*	.70
NDVI	-.56	.69	1.00	-.98*	.86	.99*
ETAPA	.51	-.64	-.98*	1.00	-.78	-.99*
COB	-.82	.93*	.86	-.78	1.00	.84
COLORO	-.55	.70	.99*	-.99*	.84	1.00

Valores resaltados en negritas y asterisco son significativos al 0.05 de probabilidad. TEMP= temperatura, ALT= altura, NDVI= Índice de vegetación diferencial normalizada, ETAPA= etapa, COB=cobertura, CLORO= clorofila.

Análisis de varianza para el genotipo GABYAN95

En el cuadro 4.5 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza para el genotipo GABYAN95. Para la fuente de variación de muestreo se encontraron diferencias altamente significativas en casi todas las variables, excepto Cobertura que no manifestó significancia, es decir, que la cobertura se mantuvo a través de los muestreos.

Entre los tratamientos también se reportaron diferencias altamente significativas en cada una de las variables. Lo que establece que la fertilización nitrogenada provocó respuestas diferentes en las variables evaluadas.

En la interacción de tratamientos por muestreo se encontró alta significancia en la etapa fenológica, cobertura y el contenido de clorofila. Lo que sugiere que los tratamientos provocaron respuestas diferentes en los muestreos realizados, es decir no se detectó una tendencia o asociación.

Cuadro 4.5 Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para el genotipo GABYAN95.

FV	GL	TEMP	ALTURA	NDVI	ETAPA	COB	COLORO
MUESTREO	5	63.756 **	117.777 **	0.49 **	2799.227 **	237.833 NS	1154.51 **
REP(MUESTREO)	12	1.588 NS	11.944 NS	0.001 NS	4.888 NS	80.277 **	6.686 NS
TRAT	4	3.858 **	95.138 **	0.08 **	68.361 **	447.638 **	479.814 **
TRAT*MUESTREO	20	0.89 NS	15.972 NS	0.002 NS	24.221 **	28.806 **	18.426 **
ERROR	48	0,846	12,291	0,001	4,153	11,527	6,394

**= Significativo al 0.01 de probabilidad; *= significativo al 0.05 de probabilidad; NS= No significativo; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; TEMP= Temperatura; NDVI=Índice de vegetación diferencial normalizado; COB= Cobertura; CLORO= Clorofila.

Comparación de medias de los tratamientos

Al realizar la prueba de comparación de medias de los tratamientos de fertilización nitrogenada de acuerdo con los resultados que se presentan en el cuadro 4.6 se describen enseguida.

Para la prueba de medias de la temperatura del dosel (TEMP) se reportaron 3 grupos de significancia, en el primer grupo el tratamiento 1 (0 unidades de nitrógeno) y el tratamiento 2(60 unidades de nitrógeno), mostraron la mayor temperatura. El valor más bajo correspondió al tratamiento 4 (180 unidades de nitrógeno) 21.083°C. Las temperaturas oscilaron entre el rango 21.083 a 22.106°C.

Para la altura de la planta (ALTURA), se formaron 3 grupos de significancia (cuadro 4.6), en el primer grupo se ubicaron los tratamientos 4, 5 y 3 (180, 240 y 120 unidades de nitrógeno), que promovieron las mayores alturas. En lo que respecta al valor más bajo de la altura de la planta correspondió al tratamiento 1 (0 unidades de nitrógeno) con 82.222cm. Por lo tanto, las plantas con mayor dosis de nitrógeno se favorecieron en el crecimiento de las mismas en comparación a las plantas con menor dosis. Dichos resultados coinciden con lo observado por Elbehri *et al.* (1993) y Myers (1998) en el sentido de que a mayor cantidad de nitrógeno, mayor altura de la planta.

Para el NDVI se formaron 4 grupos de significancia, en el cual sobresale el tratamiento 4 (180 unidades de nitrógeno) con una lectura de: 0.554. El menor valor lo presentó el testigo absoluto (0 unidades de nitrógeno) con una lectura de: 0.389. Con estos resultados se sugiere que el efecto de la fertilización nitrogenada favorece el índice de verdor en la planta, lo cual concuerda con la investigación de García y Espinoza (2000) donde menciona que el índice de verdor de las plantas depende en alta medida de la combinación entre el componente genético y el nivel de N absorbido.

En la etapa fenológica (ETAPA), se formaron 4 grupos de significancia, en el primer grupo se encontró el tratamiento 1 (0 unidades de nitrógeno). En el segundo grupo el tratamiento 2 (60 unidades de nitrógeno) y en el último grupo los tratamientos 4, 5 y 3 (180, 240 y 120 unidades de nitrógeno). Estos resultados sugieren que la fertilización nitrogenada a la planta tiende a retrasar su maduración, Perdomo (1999) menciona en su trabajo que la aplicación de altas dosis de N generalmente alarga el ciclo vegetativo de los cultivos por lo que sugiere la necesidad de determinar la respuesta de esta variable a la fertilización nitrogenada.

En general se ha observado que la dosis de N interacciona con el momento de aplicación, cuando más tarde se aplica una misma dosis de N mayor es el efecto de retraso en la maduración. En cambio, cuando se parte de situaciones de gran deficiencia de N, la aplicación de dosis moderada de este nutriente puede acortar el ciclo del cultivo (Perdomo y Barbazan 1999).

Para la variable cobertura (COB), se formaron 3 grupos de significancia, en los que se destacaron en el primer grupo los tratamientos 4, 5 y 3 (180, 240 y 120 unidades de nitrógeno) con los mayores valores. Los menores valores fueron los tratamientos 2 y 1 (60 y 0 unidades de nitrógeno). Dados los resultados anteriores, a mayores dosis de nitrógeno se incrementó la cobertura de la planta dentro de la parcela útil, lo cual sugiere que la adición de nitrógeno favorece la formación de área foliar, Landis, *et al* (2000) menciona que la fertilización puede acelerar el crecimiento aéreo y radical de las plantas.

En el contenido de clorofila (CLORO) se formaron 4 grupos de significancia, destacando los tratamientos 4 y 5 (180 y 240 unidades de nitrógeno) con los mayores valores. Nuevamente el tratamiento 1 (0 unidades de nitrógeno) obtuvo el menor valor de: 28.873 unidades SPAD. Los resultados anteriores muestran el efecto positivo de la fertilización nitrogenada, ya que a mayores dosis la planta manifiesta mayor contenido de clorofila, Kopsell *et al.* (2004) reporta que el contenido de clorofila y carotenoides aumenta en plantas fertilizadas con N, P y K, contribuyendo a un incremento en la tasa fotosintética. Esta observación condujo a

la determinación del tipo de relación que guardan estas dos variables, tema que se trata a continuación.

Cuadro 4.6 Resultados de la comparación de medias (DMS al 0.05) para los tratamientos en las variables evaluadas.

	TEMP	ALTURA	NDVI	ETAPA	COB	COLORO
	1 22.106 a	4 87.778 a	4 0.554 a	1 82.444 a	4 82.778 a	4 41.407 a
	2 21.789 ab	5 87500 a	5 0.525 b	2 81.000 b	5 81.389 a	5 39.855 ab
TRAT	3 21.183 bc	3 85.833 ab	3 0.494 c	4 78.500 c	3 80.556 a	3 38.946 b
	5 21.122 c	2 84.444 bc	2 0.436 d	5 78.222 c	2 75.278 b	2 33.821 c
	4 21.083 c	1 82.222 c	1 0.389 d	3 78.167 c	1 70.833 c	1 28.873 d

TRAT=Tratamiento; TEMP= Temperatura; NDVI=Índice de vegetación diferencial normalizado; COB= Cobertura; CLORO= Clorofila. Tratamientos con la misma letra son iguales.

Análisis de regresión.

Con las medias de las variables obtenidas a través de los muestreos, se realizaron análisis de regresión, explorando la respuesta lineal y cuadrática para establecer de qué grado fue dicha respuesta en todas las variables.

El comportamiento mostrado por GABYAN95 con respecto al análisis de regresión para las variables fue de tipo cuadrática. Para las variables NDVI, Etapa, y Clorofila (Cuadro 4.7), los valores de sus coeficientes de determinación (R^2) fueron mayores del 0.70, debido a lo cual se procedió mediante el método de la segunda derivada (Fermant, 1636) a detectar la existencia o ausencia de un máximo. En el mismo cuadro se reportaron los días en los que se presentó la máxima respuesta en el genotipo GABYAN95.

Los días en el que GABYAN95 manifestó la mayor respuesta en el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) fue a los 60 días con una R^2 de 0.86 lo cual equivale a un 86% de la explicación de esta variable en función de los muestreos realizados. En la etapa fenológica se alcanzó un máximo al día 96 con

una R² de 0.92. Lo cual indica que conforme avanzan los días se incrementa la etapa fenológica de este genotipo. En el contenido de clorofila se presentó un máximo al día 54, con una R² de 0.65 que corresponde a explicar un 65% de su comportamiento en función de los muestreos. A la fecha se desconoce de trabajos similares en los cuales se explique el tipo de respuesta que muestran estas variables.

Cuadro 4.7 Ecuación de respuesta y coeficiente de determinación (R²) de la variedad GABYAN 95, en las variables evaluadas.

Variable	Ecuación de respuesta	R ²	Máximo (Días)
Temperatura	30.360 – 0.231 x + 0.001 x ²	0.009	
Altura	10.945 + 1.936 x – 0.012 x ²	0.18	
NDVI	0.540 + 0.012 x – 0.0001 x²	0.86	60
Etapa	-163.399 + 5.388 x – 0.028 x²	0.92	96
Cobertura	- 46.718 + 3.408 x – 0.023 x ²	0.27	
Clorofila	3.037 + 1.518 x – 0.014 x²	0.65	54

R²= Coeficiente de determinación.

Correlaciones

En el cuadro 4.8 se muestran las correlaciones entre pares de variables donde se manifestó una correlación significativa entre todas las variables evaluadas, con valores entre 0.92 a 1.00, valor encontrado entre Clorofila y Cobertura (r=1.00), que corresponde a una correlación perfecta.

En este estudio se reportaron 7 correlaciones positivas y significativas, entre las variables siguientes: La altura de la planta se correlaciono positivamente con el NDVI (r=0.98), el contenido de clorofila (r=0.98) y la cobertura (0.98). En el caso de la asociación de la altura con el NDVI y el contenido de clorofila es una respuesta positiva esperada a la fertilización nitrogenada que provoca el crecimiento y así mismo favorece el color verde de las plantas, Lawlor (2002) explica que el suministro de N es crucial para el crecimiento de la hoja debido a la función de las proteínas en el crecimiento de las paredes celulares y el citoesqueleto y por lo tanto en la expansión de las células.

La temperatura dosel de la planta mostró una correlación positiva con respecto a la etapa, lo que reporta que conforme la planta envejece, la temperatura aumenta.

El índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) se encontró correlacionado positivamente con la cobertura ($r=0.95$) y el contenido de clorofila ($r=0.95$). Lo cual sugiere que, a mayor cobertura mayor índice de vegetación y mayor contenido de clorofila, respuesta positiva lógica esperada ya que ambas miden el color verde de la planta, Castellanos, *et al* (2017) en su investigación mencionan que los valores de índice de verdor encontrados determinan un valor adecuado de clorofila.

Se reportaron 8 correlaciones negativas y significativas entre los siguientes pares de variables: La temperatura de la planta se correlacionó negativamente con la altura de la planta ($r=-0.96$), el NDVI ($r=-0.95$), cobertura (-0.99), y el contenido de clorofila ($r=-0.99$) lo cual indica que plantas más altas, mayor NDVI, contenido de clorofila y cobertura mostraron menor temperatura, sugiriendo que su capacidad de enfriamiento se relacionó con la morfología y el verdor de la planta.

La etapa fenológica de la planta se correlacionó negativamente con la altura ($r=-0.92$), el NDVI ($r=-0.94$), cobertura ($r=-0.97$) y el contenido de clorofila ($r=-0.97$) debido a que la planta al envejecer tiende a perder color verde y cobertura dentro de la parcela.

Cuadro 4.8 Correlaciones entre variables evaluadas del genotipo GABYAN95.

	TEMP	ALT	NDVI	ETAPA	COB	COLORO
TEMP	1.00	-.96*	-.95*	.99*	-.99*	-.99*
ALT	-.96*	1.00	.98*	-.92*	.98*	.98*
NDVI	-.95*	.98*	1.00	-.94*	.95*	.95*
ETAPA	.99*	-.92*	-.94*	1.00	-.97*	-.97*
COB	-.99*	.98*	.95*	-.97*	1.00	1.00*
COLORO	-.99*	.98*	.95*	-.97*	1.00*	1.00

Valores resaltados en negritas y asterisco son significativos al 0.05 de probabilidad. TEMP= temperatura, ALT= altura, NDVI= Índice de vegetación diferencial normalizada, ETAPA= etapa, COB=cobertura, CLORO= clorofila.

En la figura 4.1 se muestra la respuesta de ambos genotipos a través de los muestreos, donde se aprecia que el NDVI tiende a disminuir conforme se avanzan los muestreos, pero el genotipo CANI85 mantiene un comportamiento al mostrado por GABYAN95 ya que los valores superiores de CANI85 son evidentes desde el tercer muestreo, hasta el último realizado. Se aprecia también en dicha figura como el NDVI decrece conforme se avanza en los muestreos realizados semanalmente, no obstante GABYAN95 lo pierde de manera más rápida.

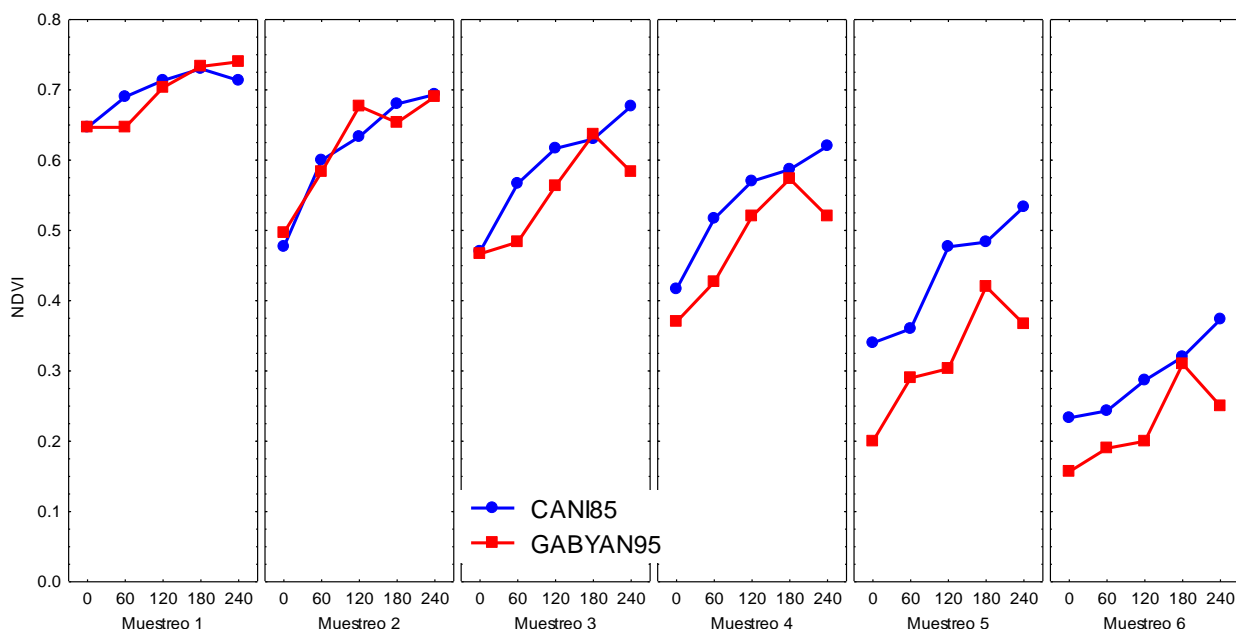


Figura 4.1 Valores de la variable NDVI a través de los muestreos y tratamientos de fertilización nitrogenada en CANI85 y GABYAN95.

En la figura 4.2 se presenta la respuesta de la variable clorofila de ambos genotipos a través de los muestreos realizados, donde se aprecia que en los primeros tres muestreos GABYAN95 mostró mayores contenidos de clorofila en comparación con CANI85, sin embargo, a partir del cuarto muestreo CANI85 supero los valores. En forma general se aprecia que los niveles de clorofila tienden a disminuir conforme se avanzan en los muestreos, pero CANI85 mantuvo mayores contenidos que GABYAN95 en los últimos tres muestreos.

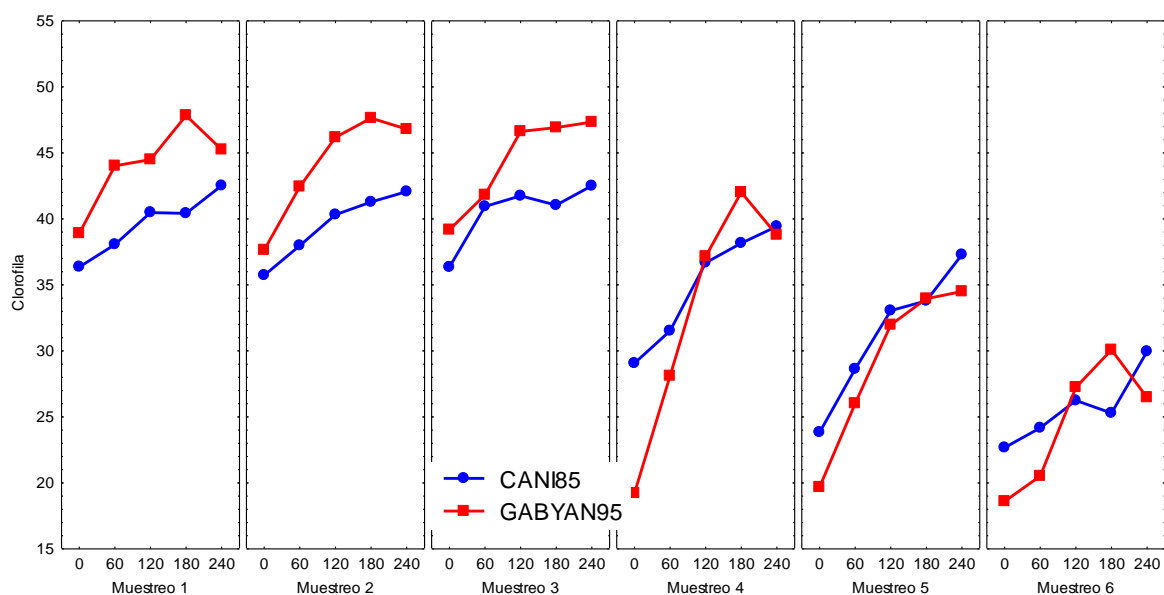


Figura 4.2 Valores de la variable Clorofila a través de los muestreos y tratamientos de fertilización nitrogenada en CANI85 y GABYAN95.

Al graficar la etapa fenológica de los genotipos evaluados a través de los muestreos se observa la mayor precocidad del genotipo GABYAN95 con respecto a su progenie teniendo los mayores valores en todos los muestreos; en el último muestreo ya no hubo diferencias con respecto a los tratamientos de fertilización (Figura 4.3)

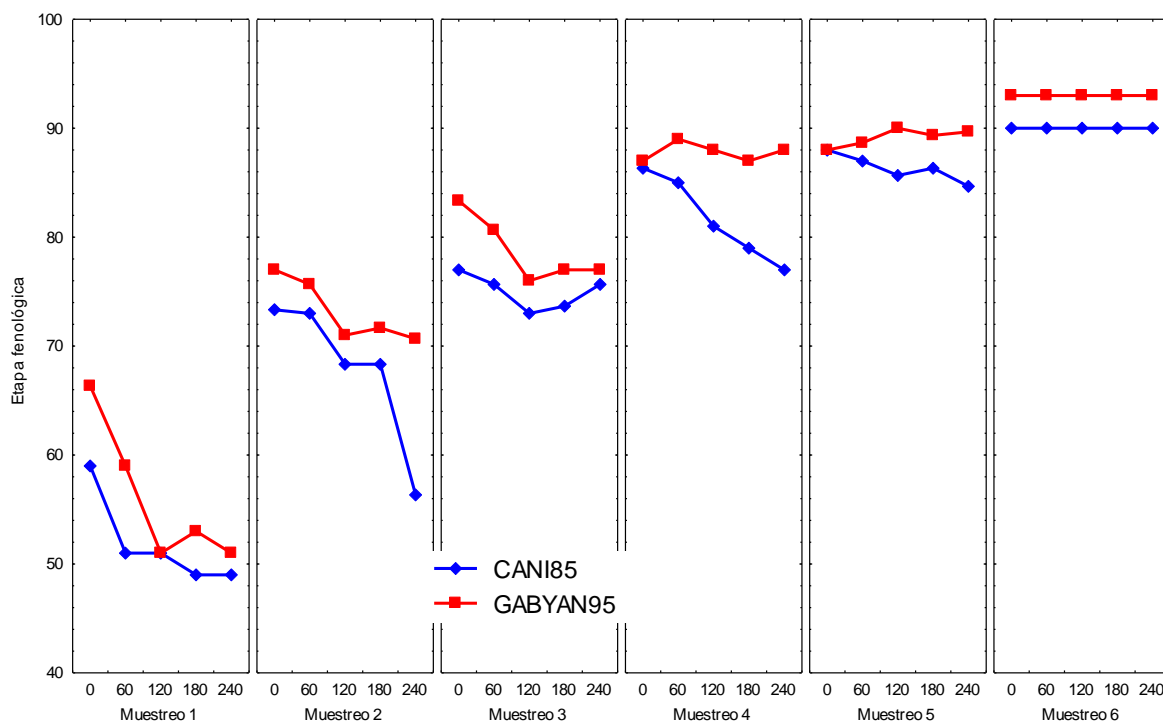


Figura 4.3 Valores a través de los muestreos de la etapa fenológica y tratamientos de fertilización nitrogenada en CANI85 y GABYAN95.

V. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- El genotipo CANI85 mostró una mejor respuesta a la fertilización nitrogenada, superando al genotipo GABYAN95 en el contenido de clorofila y NDVI.
- De las tecnologías de infrarrojos, el GreenSeeker para la determinación del NDVI es considerado una herramienta útil para conocer la condición del cultivo y además se relaciona positivamente con el contenido de clorofila.
- Solo en las variables clorofila, etapa y NDVI se reportó una respuesta de tipo cuadrática a la fertilización nitrogenada.

VI. LITERATURA CITADA

- APHA, American Public Health Association, American Waterworks, Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF) 1998. Standard methods for examination of water and sewage and wastewater. 20a ed. American Public Health Association. New York.
- Banderas A, González R, Lanza G. 1991. Limnological aspects of a high-mountain lake in México. *Hydrobiologia*. Kluwer academic publishers. U.S.A; 224:1-10.
- Cabrera-Bosquet, L., Molero G., Stellaci A., Bort J. Nogués S. y Araus J. 2011. NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Research Communications*. Vol.39, Num. 1, 147-159.
- Campbell, N. A. y Reece, J. B. 2007. *Biología*. 7ª edición. Ed. Médica Panamericana. Madrid, España.
- Castellanos, M. A., R. Valdés, A. López y F. Gurini. 2017. Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. *Cultivos tropicales*. 2017, 38(3), 112-116
- Castillo, R. A. Ligarreto, G. A. 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero Colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. Colombia. 122-128 pp.
- Clymont, G. L. 1974. *Biología básica de la producción animal por medio de pasturas*. En: B.J.F. JAMES. *Utilización intensiva de pasturas*. Editorial hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina. 15-18.
- Colín, R. M., A. J. Lozano, G. Martínez, V. M. Zamora, J. T. Santana y V. M. Méndez. 2004. Producción de materia seca de líneas de cebada forrajera imberbe en cuatro ambientes y correlaciones entre algunos componentes del rendimiento de forraje. *Resultados de investigación*. UAAAN, 2004, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- De la Torre, G. A., Suescún, A. C. M., Alarcón, V. S., 2005. El método de máximos y mínimos de Fermat. *Revista Lasallista de Investigación*. 2(2), 31-37.
- Domínguez Vivancos, A. 1989. *Tratado de fertilización*. Mundi-prensa. Madrid. 601 pp

- Elbehri, A. D.; Putnam, H. and Schmitt, M. 1993. Nitrogen fertilizer and cultivar effects on grain yield and N-use efficiency of grain amaranth. *Agronomy Journal*. U.S.A.85:120–128.
- Exebio, G. Oropeza, J. Bolaños, M. 2005. Estimación temprana del rendimiento de la cebada mediante uso de sensores remotos. *Terra Latinoamericana*., España. 23(2)167-174.
- FAO, 1986. Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. Boletín FAO. Fertilizantes y nutrición vegetal 9. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 198 pp. (*)
- Fernández, C. L. 2011. Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI.1ª ed. S.E.E.P. Madrid. 704 p.
- Flores, L. A., G. Lizarraga del C., y F. J. Peñuri, M. 1984. Evaluación en la producción de forraje, valor nutritivo y calidad de ensilaje en diferentes especies de cereales. *Técnica pecuaria en México*., suplemento 11.
- García, J. P. y Espinosa, J. 2000. Relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz. Colombia. 2p.
- García, F. O., & Daverede, I. 2008. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, 29–31.
- García, R.A. 2018. Uso de índices de vegetación para estimar biomasa en triticales primaverales e invernales. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Gallardo, M. 2010. Cereales de invierno: Valor de los ensilajes de avena y cebada. *Nutrición Animal*. Instituto de Patobiología- CICVyA-Castelar. Argentina. Pag 1.
- Guerrero, A. 1999. Cultivos Herbáceos Extensivos 6ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 144 – 184.
- Gummuluru S, Hobbs SLA, Jana S. 1989. Physiological responses of drought tolerant and drought susceptible durum wheat genotypes. *PhotoSynthetica* 23: 479-485.
- Hill, A. F. 1965. Botánica económica. Ed. Omega, S.A. Barcelona.
- Hughes y Henson. 1957. Crop production. 4ª. Ed. Mc. Graw-Hill Book Company, NY. pp. 309-413.

- Hughes, H. D., M. E. Heath y D. S. Metcalfe. 1974. Forrajes. Ed. CECOSA. México p. 373-373.
- Houspampssian, J., Schirmbeck. J., Rivas. R., Vázquez. P. 1990. Relación entre la temperatura radiativa de la vegetación y el contenido de agua en suelo. Ed. Martin Argentina. Pp. 137-138.
- Kopsell, D., E. Kopsell, M. Lefsrud, J. Curran, Celentano & L. Dukach. 2004. Variation in lutein, carotene, and chlorophyll concentrations among Brassica oleracea cultigens and seasons. Horticultural Science. New Hampshire, USA. 39(2): 361-364.
- Landis, T., R. Tinus, S. McDonald and J. Barnett. 1990. Containers and growing media, Vol. 2. The container tree nursery manual. Agriculture Handbook 674. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. 88p
- Landriscini, M. R., Scientific, N., & Galantini, J. A. 2010. Fertilización nitrogenada y balance de nutrientes en cebada cervecera. Argentina. 28(2).
- Lawlor. D. 2002. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. Journal of Experimental Botany. USA. 53(370), 773–787.
- Leonard, W. H. y J. H. Martin. 1970. Cereal crops. Ed. The Macmillan Company, New York, EUA. 824p.
- López, B. L. 1991. Cultivos herbáceos. Cereales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 247p.
- Mora, G. M. 2004. La Fertilización de Cebada de Riego en Querétaro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. México. 30 p.
- Meneses, C. L. 2011. El índice normalizado diferencial de la vegetación. Unasyuva (FAO). México. 62; 39–46.
- Myers, R. L. 1998. Nitrogen fertilizer effects on grain amaranth. Agronomy Journal. USA. 90:597–602.
- Pask, AJD., Pietragalla, J., Mullan, DM. And Reynolds, MP. 2012 (Eds.), Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping., CIMMYT, México, D.F.: 41-43.
- Perdomo, C. y Barbazán, M. 1999. Área de suelos y aguas de cátedra de fertilidad. Nitrógeno. Uruguay. 62p.

- Pérez G, Queimaliños C, Modenutti B. 2002. Light climate and plankton in the deep chlorophyll máxima in north patagonian andean lakes. *Journal of Plankton Research*. Oxford, USA. 24(6):591-599.
- Poehlman, J. M. 1971. *Mejoramiento genético de las cosechas*. Editorial. Limusa, México. 453 p.
- Ramírez J, y Alcaráz H. 2002. Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en un sistema eutrófico tropical: Laguna del Parque Norte, Medellín, Caldasia. Colombia.; 24(2):411-423.
- Robles, S. R. 1990. *Producción de granos y forrajes*. 5^a Edición. Limusa. Mexico. Pag. 250-251.
- Sabando, M. L. Ross, F. 2013. *Utilización de sensores remotos para mejorar el manejo de la nutrición nitrogenada en trigo y en cebada*. Buenos Aires Sur. 5 p.
- Sanint, E. A. 2004. *Métodos cuantitativos para la toma de decisiones ambientales*. 2^a Edición. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 160p.
- Santoyo, C. E. y Quiroz M. J. 2004. *Guía para el cultivo de cereales en el estado de México*. ICAMEX Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. México. Vol. 3 (1,2,3). Pag. 2.
- Salvagiotti, F., J.M. Castellarín, D.J. Miralles, y H.M. Pedrol. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen uptake. *Field Crop Research*. 113:170-177.
- Shands y Dickson. 1955. *Barley. Economic botany*. The New York Botanical Garden. New York. Vol. 7. 1-26.
- Sinclair, T.R., y T.Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Science*. 29:90-98.
- Solis, E. Díaz, J. 2001. Effect of controllable production factors on grain yield and yellow belly in durum wheat. *Terra Lationamericana*. 19(4): 375-383.
- Tenga, A. Z. Marie, B.A. Ormrod, P.D. 1989. Leaf greenness meter to assess ozone injury to tomato leaves. *HortScience* 24: 514.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. Elsevier. 8, 127.

- Ullrich, S. E. 2011. Significance, adaptation, production, and trade of barley. In: Barley: Production, improvement, and uses. Ed. Wiley-Blackwell Publishing Ltd. Iowa, USA. 3p.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weeds Res., 14: 415.
- Zajac, C. C. Gustavo, V. A. Zajac, E. E. & Galantini, J. 2013. Nota científica. Análisis del rendimiento en cereales de invierno bonaerense, argentina scientific communication analysis of the performance of winter cereals by yield maps and the normal difference vegetation index (ndvi) in the south west area of Buenos Aires, Argentine. Chilen journal of agricultural & animal sciences. Argentina. 12p.
- Zhang, Y., Chen, J.M. y Thomas, S.C. 2007. Retrieving seasonal variation in chlorophyll content of overstory and understory sugar maple leaves from leaflevel hyperspectral data. Canadian Journal of Remote Sensing. 33(5):406-415.