

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE EN FORRAJE
SECO DE TRIGOS HARINEROS SIN ARISTAS

Tesis

Que presenta LUZ ORALIA RAMÍREZ PÉREZ
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2020


ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE EN FORRAJE SECO
DE TRIGOS HARINEROS SIN ARISTAS

Tesis


Elaborada por LUZ ORALIA RAMÍREZ PÉREZ como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Fitomejoramiento con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría




Dr. Victor Manuel Zamora Villa
Asesor Principal



Dr. Humberto de León Castillo
Asesor



M.C. Modesto Colín Rico
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2020

Agradecimientos

A Dios, por darme vida y salud para seguir adelante.

Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa, por permitirme participar en este trabajo de investigación y guiarme en el trascurso del mismo, su gran apoyo y brindarme conocimientos que fueron esenciales para la conclusión de la presente tesis.

Al Dr. Humberto de León Castillo, por su grata amistad y valiosa aportación a este trabajo de investigación.

Al MC. Colín Rico Modesto, por la amistad brindada desde licenciatura y su gran colaboración en este proyecto.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por permitirme realizar mis estudios de postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría.

Al Ing. Janinne por la grata amistad dentro y fuera del postgrado, además del apoyo brindado.

Al Ing. David por la especial compañía y bonitas aventuras.

Índice de Contenido

Página

Índice de cuadros.....	VI
Índice de figuras	VII
Resumen	VIII
Abstract	XI
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Importancia del trigo	3
Condiciones ecológicas y edáficas.....	3
Difusión del cultivo	4
El trigo como forraje	4
Otros cereales empleados en la producción de forraje.....	5
Potencial forrajero de los cereales de grano pequeño	6
Efecto de la etapa fenológica en la producción de forraje	6
Uso de sensores remotos en la estimación de biomasa	7
Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI)	7
Clorofila	8
Temperatura	8
Interacción genotipo ambiente	9
Métodos para estudiar la IGA	10
GGE biplot	10
SREG (Modelos de regresión de sitios)	11
Estabilidad.....	11
Interacción genotipo ambiente en la producción de forraje	12
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Material genético.....	13
Localización y descripción de los sitios experimentales.....	13

Evaluación agronómica.....	14
Preparación del terreno	14
Fertilización.....	14
Riegos.....	14
Muestreos	14
Parcela experimental	14
Datos registrados.....	14
Diseño experimental	15
Análisis estadísticos	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
Primer muestreo	18
Correlaciones entre variables	24
Segundo muestreo	25
Correlaciones entre variables	31
Tercer muestreo.....	32
Correlaciones entre variables	38
Interacción genotipo ambiente para el primer muestreo	39
Interacción genotipo ambiente para el segundo muestreo	46
Interacción genotipo ambiente para el tercer muestreo.....	53
CONCLUSIONES	61
BIBLIOGRAFÍA CITADA	62

Índice de Cuadros

Cuadro 3.1. Material genético evaluado	13
Cuadro 3.2. Descripción de los ambientes evaluados	13
Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado sobre localidades para las variables evaluadas en el primer muestreo	19
Cuadro 4.2. Resultados de la comparación de medias de los ambientes de evaluación para las variables del primer muestreo	21
Cuadro 4.3. Resultados de la comparación de medias de los genotipos para las variables evaluadas en el primer muestreo	23
Cuadro 4.4. Correlaciones entre variables a través de ambientes para el primer muestreo	24
Cuadro 4.5. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado sobre localidades para las variables evaluadas en el segundo muestreo.....	26
Cuadro 4.6. Resultados de la comparación de medias de los ambientes de evaluación para las variables del segundo muestreo	27
Cuadro 4.7. Resultados de la comparación de medias entre genotipos para las variables evaluadas en el segundo muestreo	30
Cuadro 4.8. Correlaciones entre variables a través de ambientes para el segundo muestreo	31
Cuadro 4.9. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado sobre localidades para las variables evaluadas en el tercer muestreo	33
Cuadro 4.10. Resultados de la comparación de medias de los ambientes de evaluación para las variables del tercer muestreo	34
Cuadro 4.11. Resultados de la comparación de medias entre genotipos para las variables evaluadas en el tercer muestreo.....	37
Cuadro 4.12. Correlaciones entre variables a través de ambientes para el tercer muestreo	38
Cuadro 4.13. Cuadrados medios y significancia del AMMI para el primer muestreo.....	39
Cuadro 4.14. Cuadrados medios y significancia del AMMI para el segundo muestreo..	46
Cuadro 4.15. Cuadrados medios y significancia del AMMI para tercer muestreo	52

Índice de Figuras

Figura 4.1. Interacción genotipo ambiente para FSTOT con base en rendimiento y primer componente principal	40
Figura 4.2. Interacción genotipo ambiente para FST con base en rendimiento y primer componente principal	41
Figura 4.3. Interacción genotipo ambiente para FSH con base en rendimiento y primer componente principal	42
Figura 4.4. Interacción genotipo ambiente para FSE con base en rendimiento y primer componente principal	43
Figura 4.5. NDVI y primer componente principal	44
Figura 4.6. Clorofila y primer componente principal	45
Figura 4.7. Interacción genotipo ambiente para FSTOT con base en rendimiento y primer componente principal	47
Figura 4.8. Interacción genotipo ambiente para FST con base en rendimiento y primer componente principal	48
Figura 4.9. Interacción genotipo ambiente para FSH con base en rendimiento y primer componente principal	49
Figura 4.10. Interacción genotipo ambiente para FSE con base en rendimiento y primer componente principal	50
Figura 4.11. NDVI y primer componente principal	51
Figura 4.12. Clorofila y primer componente principal	51
Figura 4.13. Interacción genotipo ambiente para FSTOT con base en rendimiento y primer componente principal	53
Figura 4.14. Interacción genotipo ambiente para FST con base en rendimiento y primer componente principal	54
Figura 4.15. Interacción genotipo ambiente para FSH con base en rendimiento y primer componente principal	55
Figura 4.16. Interacción genotipo ambiente para FSE con base en rendimiento y primer componente principal	56
Figura 4.17. NDVI y primer componente principal	57
Figura 4.18. Clorofila y primer componente principal	58

RESUMEN

ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE EN FORRAJE SECO
DE TRIGOS HARINEROS SIN ARISTAS

Por

LUZ ORALIA RAMÍREZ PÉREZ
MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. VÍCTOR MANUEL ZAMORA VILLA - ASESOR-

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2020

La interacción genotipo ambiente (IGA) ha tomado importancia a través del tiempo, siendo indispensable para conocer los genotipos deseables y que poseen un alto rendimiento de forraje. El objetivo del presente trabajo fue: Determinar la magnitud de la IGA en la producción de materia seca total y sus fracciones de veintidós genotipos de trigo forrajero sin aristas, más tres testigos comerciales en cuatro ambientes y tres muestreos. Los ensayos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, en una parcela experimental de 6.3 m². En campo se determinó: altura y temperatura de planta, Etapa fenológica, NDVI, Clorofila, Cobertura de terreno, y el material cosechado en cada muestreo, se separó en tallos, hojas y espigas, secado en asoleadero hasta peso constante para obtener peso seco de tallos (FST), hojas (FSH) y espigas (FSE), transformándose a toneladas por hectárea y con la suma de estas fracciones se obtuvo el forraje seco total (FSTOT). La información conjunta de los ambientes de prueba se analizó mediante bloques al azar combinado sobre ambientes, y una vez detectada la IGA se analizó mediante el modelo AMMI. En los ambientes evaluados se encontró diferencias significativas debido a las condiciones contrastantes que presentaban, indicando el potencial productivo de cada uno, y encontrando que los genotipos presentaban diferencias estadísticas entre sí, al poseer diferente patrimonio genético, hallando IGA en el primer muestreo en todas las variables, excepto en la temperatura y NDVI, y en un segundo muestreo FSTOT, FST Y FSH no fueron significativos; teniendo éste comportamiento para el último muestreo, existiendo estabilidad de producción. FSTOT se asoció positiva y significativamente con FST, FSH y ALT en el primer muestreo, y en el segundo lo hizo con las variables mencionadas y con COB; incluyendo NDVI para el último muestreo, demostrando que la fracción de tallos son de mayor aporte a la producción. Con base en los resultados obtenidos se concluye que: Las hojas presentaron la mayor IGA, sugiriendo la ocurrencia de mecanismos de compensación en la planta, ya que en los últimos dos muestreos no se detectaron diferencias en la producción total. GABYAN 95 presentó el mayor rendimiento de forraje con grandes interacciones; sin embargo, la mayoría de los trigos, tales como: 15 (AN-229-09), 2 (AN-268-99), 19 (AN-241-13), 3 (AN-263-99), 13 (AN-222-09), 9 (AN-217-09), 11 (AN-220-09), 21 (AN-246-13), 18 (AN-7-09) y 22 (AN-310-03), tuvieron una producción cercana a ella, pero superiores y deseables en otras características, logrando

superar a la avena en todos los muestreos. El NDVI mostró IGA conforme la planta se acercaba a floración y llenado de grano, pero existen genotipos deseables de trigo para dicha variable. El contenido de clorofila fue afectado fuertemente por el ambiente y mostró IGA significativa en todos los muestreos, identificando como deseables al triticale seguido de los trigos 14 (AN-228-09), 17 (AN-326-09), 22 (AN-310-03), 15 (AN-229-09), 21 (AN-246-13), 20 (AN-409-13) y 19 (AN-241-13). La ausencia de IGA en el FSTOT y FST en los últimos dos muestreos, es una característica deseable en los genotipos evaluados, al sugerir estabilidad de producción.

Palabras clave: Interacción genotipo ambiente, análisis AMMI, producción de forraje, trigos imberbes.

ABSTRACT

GENOTYPE ENVIRONMENT INTERACTION ANALYSIS IN DRY FORAGE OF
AWNLESS BREAD WHEATS

BY

LUZ ORALIA RAMÍREZ PÉREZ
MASTER OF SCIENCE IN PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. VÍCTOR MANUEL ZAMORA VILLA –ADVISER–

Saltillo, Coahuila

December 2020

The genotype environment interaction (GEI) has become very important over time, being essential to know the desirable genotypes and those that have a high forage yield. The objective of the present work was: to determine the magnitude of the GEI in the production of total dry matter and its fractions of twenty-two forage awnless wheat genotypes plus three commercial checks through four environments (E) and over three samples. The trials were established under a randomized complete block design with three replications, in an experimental plot of 6.3 m². In the field was determined: plant height and temperature, phenological stage, NDVI, chlorophyll, land cover, and the material harvested in each sampling was manually separated into stems, leaves and ears, dried in a sundeck until constant weight to obtain dry weight of stems (FST), leaves (FSH) and ears (FSE), transforming that weight into tons per hectare and with the sum of these fractions the total dry forage (FSTOT) was obtained. The combined information of the four test environments was analyzed using random blocks combined over environments, and once the GEI was detected, it was analyzed using the AMMI model. In the evaluated environments, significant differences were found due to the contrasting conditions that they presented, indicating the productive potential of each one, and statistical differences were detected also among genotypes, indicating that they possess different genetic heritage, finding GEI in the first sampling in all variables, except in temperature and NDVI; in a second sampling only FSTOT, FST and FSH were not significant; showing this same case for the third sampling, existing production stability. FSTOT was positively and significantly associated with FST, FSH and ALT in the first sampling, and in the second one it was associated with the mentioned variables and with COB; including NDVI for the last sampling, showing the greatest contribution of the stems fraction to the production. Based on the results obtained, it is concluded that: the leaves presented highest GEI, suggesting the occurrence of compensation mechanisms in the plant, in the last two samples no differences were detected in the total production. GABYAN95 presented the highest forage yield with great interactions; however, most of the wheat, such as: 15 (AN-229-09), 2 (AN-268-99), 19 (AN-241-13), 3 (AN-263-99), 13 (AN-222-09), 9 (AN-217-09), 11 (AN-220-09), 21 (AN-246-13), 18 (AN-7-09), 22 (AN-310-03), have a production close to it, but superior and better in other characteristics, managing to overcome the oat in all the samplings. The NDVI showed GEI as the plant approached flowering and grain filling,

but there are desirable wheat genotypes for this variable. Chlorophyll content was strongly affected by the environment and showed significant GEI in all the samplings, identifying as desirable the triticale followed by wheat 14 (AN-228-09), 17 (AN-326-09), 22 (AN-310-03), 15 (AN-229-09), 21 (AN-246-13), 20 (AN-409-13) y 19 (AN-241-13). The absence of GEI in FSTOT and FST in the last two sampling is a desirable characteristic in the genotypes evaluated, suggesting stability production.

Keywords: Genotype environment interaction, AMMI analysis, forage production, awnless wheats.

INTRODUCCIÓN

Los cereales invernales son una alternativa sostenible para la producción ganadera, de acuerdo al eficiente uso del agua a pesar de la frecuencia de heladas por el cambio climático, siendo el trigo el que posee una mayor tolerancia al frío (hasta -25°C). Presentan características que los hacen útiles para forraje, al producir altos rendimientos y ser ricos en proteínas, vitaminas e hidratos de carbono (Cherney y Marten, 1982; Cash *et al.*, 2004), en la actualidad se requieren genotipos aptos y con altos rendimientos de materia seca, y el trigo es considerada buena opción.

La Comarca Lagunera es la principal cuenca lechera en México y en épocas críticas como el invierno necesita opciones forrajeras que aseguren calidad nutritiva y permita continuar con la producción. Actualmente la avena es el principal cultivo forrajero de invierno en esta región y coloca a Coahuila como el quinto productor a nivel nacional. En el 2018, la superficie total estimada para trigo fue de 470,300.45 hectáreas de las cuales 1,084.46 ha fueron para trigo forrajero, incluyendo condiciones de temporal y de riego. En el Estado de Coahuila, en 2018 se sembraron 158 hectáreas de trigo forrajero, la mayor superficie de riego (SAGARPA-SIAP, 2018).

En los últimos años el uso de cereales se ha ampliado, usándolos en pastoreo, verdeo, henificado, picado y ensilado (Hughes *et al.*, 1974; Colín *et al.*, 2007) y se les ha clasificado como un recurso forrajero de buena calidad (Hart *et al.*, 1971; Juskiw *et al.*, 2000), incluso cuando se consideran sus fracciones por separado (Zamora *et al.*, 2016), existiendo trigos con producción similar al de la avena.

La IGA se ha descrito como el comportamiento diferencial que exponen los genotipos al ser evaluados en distintos ambientes. La Interacción genotipo x ambiente (IGA), es de suma importancia debido a que el comportamiento de un material puede ser bueno en un ambiente, pero no necesariamente en otro, así, un segundo material puede comportarse de manera contraria; esta respuesta de los genotipos a través de los ambientes dispone información de su estabilidad (Colín *et al.*, 2007).

A través del tiempo se han utilizado diversos parámetros para medir esta interacción, siendo el modelo AMMI el más efectivo en el análisis de ensayos multiregionales ya que

captura una gran proporción de la suma de cuadrados de la IGA, separando en forma precisa los efectos principales de los de la interacción (Gauch, 1992).

En los últimos años, el Programa de Cereales de Grano Pequeño del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha generado líneas elite de trigo harinero sin aristas con potencial para producción de forraje que puede contribuir en el déficit de producción, por lo que en el presente trabajo se analiza la interacción genotipo-ambiente en fracciones de forraje de 22 líneas de trigos harineros imberbes y tres testigos comerciales de otra especie, a través de tres muestreos, con el siguiente objetivo e hipótesis.

Objetivo:

- Determinar la magnitud de la IGA en la producción de materia seca total y sus fracciones de veintidós genotipos de trigo forrajero sin aristas, más tres testigos comerciales en cuatro ambientes y tres muestreos.

Hipótesis:

- Dentro de los genotipos evaluados, existen genotipos de trigo que igualan o superan a los testigos en producción de forraje seco total y poseen baja IGA.
- La IGA fluctúa a través del ciclo de cultivo de los genotipos evaluados.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del trigo

Triticum aestivum L. tiene un amplio rango de adaptación, crece y se desarrolla en ambientes muy diversos y puede sembrarse tanto en invierno como en primavera, lo que ha permitido que se extienda a muchas partes del mundo, actualmente ocupa el primer lugar entre los cuatro cereales de mayor producción mundial: trigo, arroz, maíz y cebada (Martin, 1990), los cuales cubren el 50% de la superficie cosechada mundialmente. El trigo ocupa aproximadamente una sexta parte del área total destinada a la agricultura (Slafer y Satorre, 1999) y el incremento del rendimiento fue posible en el siglo XX con un mejor manejo del cultivo y al uso de genotipos con potencial de rendimiento más alto (Calderini *et al.*, 1999).

A nivel mundial es el cereal más utilizado en la alimentación humana, por su alto valor energético, además contiene más proteínas que el maíz y el arroz. Tienen características de procesamiento únicas en los cereales, siendo los más utilizados como materia prima para elaborar una diversidad de alimentos procesados (FAO, 2005); tales como panes, tortillas, galletas y de repostería (Peña *et al.*, 2008), también se usa en la dieta animal en forma de forraje, aporta vitaminas y tiene la característica de producir alimento concentrado en poco tiempo.

En México existen diferentes instituciones de investigación donde se llevan a cabo programas de mejoramiento genético para obtener nuevos genotipos con alto rendimiento; lo cual implica consumo de tiempo y un alto costo. Por esto, los fitomejoradores buscan nuevas metodologías para evaluar múltiples genotipos en corto tiempo con técnicas fisiológicas modernas (Jackson, 2001). Los parámetros fisiológicos dentro de los programas de mejoramiento genético pueden ayudar a entender los mecanismos involucrados en el rendimiento final (Slafer *et al.*, 1994).

Condiciones ecológicas y edáficas

El trigo se puede desarrollar en regiones que presentan una temperatura entre 5° C y 30° C, con un óptimo para fotosíntesis entre 15° C y 20° C, la altitud oscila entre 0 y 3000 msnm (Aragón, 1995). Requiere una atmosfera seca; dado que es un cultivo que se

siembra en muchos países, a través del mejoramiento genético se ha posibilitado su producción incluso en países de clima tropical. Prefiere suelos con textura media, a una profundidad mayor a 30 cm para buen desarrollo radicular. De acuerdo con Ayers y Westcot (1985) el trigo tolera una conductividad eléctrica de hasta 6.0 dS m^{-1} sin afectar el rendimiento. Necesita condiciones con buen drenaje, y con un pH óptimo entre 5.5 a 6.5 para el crecimiento de la planta.

Difusión del cultivo

Según FAOSTAT (2017) se produce algo de trigo en 120 de los 193 países reconocidos por las Naciones Unidas, la mayor parte se siembra entre los 35° y 55° de latitud del hemisferio norte y entre los 25° y 45° de latitud en el hemisferio sur. La mayor parte de la producción de trigo está entre 2 y 7 t ha^{-1} , lográndose el mayor rendimiento sin riego en el hemisferio norte. Pueden obtenerse altos rendimientos (mayores a 7.6 t ha^{-1}) en latitudes medias a bajas de China, India, México y algunos países africanos por medio de riego. A pesar que el trigo tiene menor tolerancia a la salinidad que la cebada y menor tolerancia a la sequía que el centeno, se ha difundido más que estos cereales como alimento humano (Abbate, *et al.*, 2017).

El trigo como forraje

Hoy en día en el sector agropecuario existe una competitiva producción, obligando a los productores a hacer uso eficiente de los recursos que poseen incrementando la producción por unidad de área. Esto ha llevado a la búsqueda de materiales forrajeros que satisfagan las necesidades nutricionales de los animales, asegurando un nivel de cosecha uniforme (Araya y Boschini, 2005). La utilización del trigo para producir forraje y grano en explotaciones agrícola-ganadera incrementa al ocupar un lugar importante en la cadena forrajera por producir buena calidad y cantidad de forraje a lo largo del ciclo del cultivo, y al ser de fácil implementación con buen comportamiento ante el frío y buena reacción al pastoreo (Bainotti *et al.*, 2004).

En Argentina el trigo era de doble propósito al ser utilizada para producción de grano y forraje. Durante los años '70 disminuyó el uso de trigo para forraje incrementando los destinados a grano. A partir del año 2000 se introdujeron genotipos de trigo de alto

rendimiento que podrían adaptarse para doble propósito. Soportando uno o más cortes para uso forrajero y luego regenerar parcialmente su área verde para obtener cosecha de grano (Peralta *et al.*, 2011).

Otros cereales empleados en la producción de forraje

En México, la cebada es el principal insumo en la industria cervecera y puede usarse para forraje, al igual que otros cereales de invierno presenta altos rendimientos, y en particular este cultivo no disminuye su calidad forrajera en etapas posteriores a la antesis, probablemente debido a su mayor cantidad de grano (Colín *et al.*, 2007; 2009). Para incrementar la producción de forraje se necesita seleccionar nuevos genotipos y que se adapten a los cambios climáticos, métodos eficaces de producción (Nelson *et al.*, 2009), y se deben de tener en cuenta características deseables como: precocidad, altura de planta y alto rendimiento de forraje seco.

El triticale (*X Triticosecale* Wittm.) puede utilizarse para producción de forraje, ya sea para corte o pastoreo, esta modalidad es importante en regiones del norte y centro de México, por su potencial productivo y calidad nutritiva, la cual, en la etapa de encañembuche, es similar al de la alfalfa (Collar y Aksland, 2001) y tiene mayor tolerancia a temperaturas bajas en comparación con avena. Debido a la importancia de los forrajes de corte en invierno en algunas regiones como en la Laguna y el sur de Chihuahua, y de pastoreo directo, como en el Norte de Coahuila y Chihuahua, el desarrollo de variedades de triticale que cubran las necesidades de alguno de los tipos de explotación ya mencionado, adquiere mayor relevancia. (Lozano *et al.*, 2009).

El cultivo de avena (*Avena sativa* L.) es importante en México por su producción de forraje y grano; tiene amplio rango de adaptación, produce en forma satisfactoria desde partes altas, frías y lluviosas hasta ambientes semiáridos. Es una fuente importante de alimento en la industria pecuaria; cerca del 80% de la producción nacional se destina para forraje verde, henificado y grano forrajero. Como forraje tiene alta digestibilidad, alta cantidad de energía metabolizable y su fibra tiene mejores cualidades que otros cereales (INFOAGRO, 2009).

Potencial forrajero de los cereales de grano pequeño

En la Comarca Lagunera por la escasez de agua la producción de forraje es bajo sistema de riego obligando a generar tecnología para incrementar la producción, principalmente en el ciclo otoño-invierno (O-I), cuando los cultivos requieren menos agua (Reta *et al.*, 2008). En ésta región ha habido avances en el desarrollo de sistemas de producción alternativos con doble cosecha en (O-I) permitiendo incrementar la producción de forraje y bajar costos de producción. Sin embargo, es posible incrementar esta eficiencia, aprovechando la capacidad de rebrote de cereales de grano pequeño para obtener dos o más cosechas en el invierno (Ates *et al.*, 2017).

En los sistemas de producción de leche en pequeña escala se requieren estrategias y prácticas de adaptación para la búsqueda de nuevas variedades de forraje de ciclo más corto y adaptadas a regímenes de lluvia de menor precipitación o temporales erráticos, así, como en el manejo y conservación de suelo y agua, generando opciones que ayuden a hacer frente a los efectos del cambio climático y aseguren la sostenibilidad de los sistemas de producción de leche (INECC, 2007). Y los cereales de grano pequeño (avena, cebada, centeno, trigo y triticale) se caracterizan por su ciclo corto de crecimiento, cumpliendo con las características ya mencionadas.

Efecto de la Etapa fenológica en la producción de forraje

La etapa fenológica de las plantas es considerada un factor interno, en el cual el tipo de crecimiento de las plantas determina si puede ser para corte o pastoreo. Éste factor determina la cantidad de carbohidratos no estructurales como reserva energética para el crecimiento y el área foliar, la interacción entre éstas y el origen del nuevo crecimiento (Bernal, 1991). Es un factor importante al momento de corte, ya que define la cantidad y calidad de la materia seca. Estudios han demostrado que en cereales el momento adecuado de corte es entre grano lechoso y grano pastoso (Gallardo, 2010). En este último estado el contenido de materia seca es suficientemente alto entre un 35 y 40% (Kuttel *et al.*, 2017). La Escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974) es la más utilizada para describir los estados morfológicos externos en trigo. Divide el ciclo del cultivo en 10 estados principales y, dentro de ellas, en 10 estados secundarios. Cada estado individual de la escala se indica con el prefijo DC (código decimal) seguido por un número de dos dígitos formado por la

unión del estado principal y el secundario. Así, DC55 corresponde al estado principal 50 (espigazón) y a la etapa secundaria 5 (50% de la inflorescencia emergida). Actualmente se ha comenzado a admitir el uso del prefijo Z (Zadoks) en lugar de DC, por ejemplo: Z55. A continuación se mencionan algunas consideraciones importantes para el uso de esta escala: 1) Puede utilizarse en todos los cereales. 2) En trigo, los estados posteriores a Z39 se definen con números impares. 3) A fin de describir el estado de plantas individuales, resulta adecuado tomar como referencia al tallo principal y no al promedio de todos los tallos.

Uso de sensores remotos en la estimación de biomasa

Para el desarrollo de nuevas variedades de cereales con alta producción y calidad se requiere una amplia evaluación, y el método directo es el más utilizado, donde se obtienen muestras de forraje verde para determinar la materia seca, y la desventaja es la pérdida de material vegetal para evaluaciones posteriores (Royo *et al.*, 2004); y el método indirecto está basado en la medición de la reflectancia, en las plantas por la composición y estructura de las hojas, protoplasmas y cloroplastos del área foliar se genera una alta reflectancia de la energía cercana al infrarrojo, estas propiedades de las plantas se relacionan con los parámetros agronómicos y fisiológicos de las plantas que muestran la productividad de las mismas (Ma *et al.*, 2001).

Por lo que el uso de sensores remotos es de gran importancia en la determinación del rendimiento en cultivos de invierno, Boca y Rodríguez (2012) mencionan que en un futuro se incrementará el uso de imágenes derivadas de sensores remotos, ya que se espera que varios sistemas ópticos de alta resolución sean puestos en funcionamiento, lo que redundará en mayores resoluciones, disponibilidad, variedad y menor costo.

Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI)

Conocer la producción y rendimiento de trigo adquiere importancia a nivel mundial, siendo necesario diseñar una serie de métodos a largo plazo, capaces de proporcionar esa información (Dash y Curran, 2007). Paruelo (2008) menciona que varios índices espectrales han sido propuestos como estimadores de la presencia y condición de la vegetación, sin embargo, el NDVI, hasta hoy en día ha sido el más usado, mostrando

relación con la biomasa, el índice de área foliar y la productividad primaria neta aérea (Baret *et al.*, 1989), además está determinada por el contenido y actividad de la clorofila, lo que contribuye a la nutrición carbonada y conduce a la obtención de un alto contenido de carbohidratos en el grano (Duan *et al.*, 2017).

Existen equipos diseñados para medir los espectros de luz reflejada por la superficie foliar y que no dependen de las condiciones de iluminación solar o nubosidad, entre los más utilizados está el Greenseeker Handheld, que determina el NDVI, el cual permite la medición de la reflectancia de luz roja, ha mostrado ser eficiente en la predicción de la actividad fotosintética y propuesto para la estimación de biomasa y rendimiento de grano en diferentes cereales (Slafer *et al.*, 2005).

Clorofila

El contenido en clorofila en las plantas juega un papel importante, al estar correlacionado de manera positiva con la fotosíntesis, por lo tanto, la reducción de clorofila es considerada una respuesta de las plantas al estrés (Tenga *et al.*, 1989). Ésta reducción puede perjudicar el proceso fotosintético al disminuir la fijación de carbono, de ahí la importancia de conocer el contenido de clorofila de las plantas cuando las condiciones ambientales no son óptimas. En trigo han existido diferencias en la tasa de fotosíntesis neta entre cultivos a temperaturas altas la cual está asociada a una baja concentración de clorofila de la hoja en el periodo de llenado del grano (Reynolds *et al.*, 2000).

Temperatura

La temperatura de una planta es el resultado de un complejo equilibrio donde están involucrados una serie de factores físicos, fisiológicos y climáticos, que la alteran y modifican en diferente manera. Entre estos se encuentran, la radiación incidente, el grado de cobertura de la vegetación, la evapotranspiración, el tipo de superficie, las propiedades conductoras de la atmósfera, mecanismos fisiológicos de la planta y la humedad del suelo (Houspanossian *et al.*, 2007).

México tiene gran diversidad de climas y ecosistemas debido a su situación geográfica donde predominan climas áridos y semiáridos (Millar *et al.*, 2018), en dichas condiciones climáticas el desarrollo de la vegetación, la actividad microbiana del suelo y el ecosistema

tiene cierta dificultad por la incidencia negativa de factores abióticos, donde tiene marcada incidencia el incremento de la temperatura (Turner, 2017). Argente *et al.*, (2017) cita que la vulnerabilidad de la agricultura en estas regiones, podría agravarse por los efectos del cambio climático por la variabilidad de la temperatura, y probablemente afectará el desempeño fisiológico de los cultivos, cuya relación temperatura y rendimiento es muy estrecha.

Interacción genotipo ambiente

La interacción genotipo x ambiente (IGA) es descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos de un ambiente a otro, y cuando ocurre en gran proporción disminuye el progreso genético de la selección (Yang y Baker, 1991; Magari y Kang, 1993).

Rodríguez *et al.*, (2011) mencionan que la interacción genotipo-ambiente es el comportamiento diferencial de genotipos a través de condiciones ambientales variables, la cual tiene importancia en el mejoramiento genético de los cultivos, al estar presente durante el proceso de selección y recomendación de genotipos.

Una IGA significativa puede ser: 1) del tipo sin cruce, cuando el orden de clasificación de los genotipos a través de los ambientes se mantiene, y sólo se presentan cambios en la magnitud de la expresión del carácter evaluado; 2) del tipo cruzado, cuando la clasificación de los genotipos cambia con el ambiente. Cuando se realiza la selección de genotipos para varios ambientes, los fitomejoradores buscan el tipo de interacción sin cruce, esto es, genotipos con adaptación general y el tipo de interacción con cruce para adaptación específica (Okoye *et al.*, 2008).

Vencovsky y Barriga (1992) indican que la magnitud de la interacción GxA es estimada mediante el análisis de varianza (ANVA), repetidos en diferentes localidades y años. A pesar de la diversidad de modelos estadísticos empleados para el análisis de la IGA, tienen en común la aditividad de los efectos que la componen. Todos los modelos son lineales en sus parámetros, lo cual significa que las diferencias genéticas y ambientales contribuyen independientemente para la variación fenotípica.

Métodos para estudiar la IGA

Hoy en día se conocen diversos procedimientos univariados y multivariados para el estudio de la estabilidad. Entre los univariados destaca el modelo de Eberhart y Russell (1966); sin embargo, se sugiere que los métodos multivariados son más adecuados para interpretar los efectos de la IGA, tal como el modelo de Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa (AMMI) propuesto por Zobel *et al.*, (1988); Gauch y Zobel (1988 y 1996). Actualmente, el método ha sido utilizado en muchos cultivos como oleaginosas, cereales, forrajeras, entre otros (Crossa *et al.*, 1990; Van Eeuwijk, 1995; Marín, 1995; Annicchiarico, 1997), debido a que mediante la gráfica biplot facilita la identificación del comportamiento de los genotipos y ambientes de evaluación. Vargas y Crossa (2000) indican la ventaja de la gráfica biplot para explicar la interacción genotipo x ambiente, cuando en el análisis de componentes principales un genotipo presenta un valor próximo a cero, la interacción es pequeña.

El método AMMI además de estimar estabilidad, también evalúa localidades y clasifica los ambientes (Crossa *et al.*, 1990). El cual combina las técnicas del análisis de varianza (ANVA) y el análisis de componentes principales (CP) en un solo modelo, donde el ANVA permite estudiar los efectos principales de los genotipos y ambientes y los análisis de CP la IGA, la cual es tratada de forma multivariada para su interpretación. El modelo AMMI ha demostrado ser más eficiente que otras técnicas junto al uso de las gráficas biplot, es una herramienta para la interpretación de patrones de respuesta de los genotipos, ambientes y de la IGA (Kempton, 1984; Yan *et al.*, 2000).

GGE Biplot

El uso de técnicas multivariadas combinadas con el análisis gráfico, facilita la observación de interacciones complejas que involucran los resultados de investigación agronómica (Ma *et al.*, 2004), esto permite una mejor interpretación de la información. Entre las metodologías de análisis innovadoras se encuentra el GGE biplot (genotipo y genotipo por ambiente), que fue desarrollada por Yan *et al.*, (2000) para el análisis gráfico de los datos de pruebas multiambientales (MET); donde en una MET, el ambiente (E) representa el 80% de la variación, el genotipo (G) y la interacción genotipo ambiente (GE) 10% cada uno (Yan y Kang, 2003).

El GGE biplot se construye mediante el trazado de los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2). El primer componente cuando se encuentra altamente correlacionado con el efecto principal del genotipo, representa la proporción del rendimiento que se debe solo a las características del genotipo. Un segundo componente representa la parte del rendimiento debido a la interacción del genotipo ambiente, así, los genotipos que se encuentran cercanos entre sí en el GGE biplot presentan patrones similares de respuesta a través de ambientes.

SREG (Modelos de regresión de sitios)

Está basado en un modelo semejante al AMMI, pero los términos lineales de genotipos no se consideran individualmente y se adicionan al término multiplicativo de la interacción genotipo ambiente. El modelo SREG es útil para la agrupación de ambientes con interacción no opuesta, es decir, ordenamiento sin cambio de genotipos en ambientes que integran un grupo. Se realiza una estandarización usando el error estándar de la media de cada genotipo dentro de ambientes (Crossa y Cornelius, 1997) y permite la representación simultánea de la variabilidad de los genotipos y ambientes, basada en el análisis de componentes principales (Yan *et al.*, 2000).

El modelo SREG es recomendado cuando los efectos ambientales son la fuente de variación más importante, en efecto, este modelo que incluye G+GE en el término lineal proporciona un análisis gráfico de fácil interpretación del comportamiento de los genotipos, más el efecto de la interacción genotipo ambiente, denominado GGE biplot (Yan *et al.*, 2000).

Estabilidad

Es necesario evaluar el comportamiento del material genético obtenido por los programas de mejoramiento del sector agrícola, midiendo la estabilidad de los genotipos sometidos a varios ambientes en una región potencial de adaptación. En etapa final de los programas se incluyen experimentos de evaluación durante varios años en distintas localidades.

Lin *et al.*, (1986) mencionan que un genotipo estable es cuando; i) la varianza entre ambientes es mínima, característica que fue destacada por Finlay y Wilkinson (1963); ii) cuando el cuadrado medio de las desviaciones de regresión del genotipo sea pequeño,

donde el índice ambiental se considera como variable independiente, que equivale al parámetro S^2_{di} de Eberhart y Russell (1966) y al λ_i Tai (1971); y iii) cuando se presentan variaciones pequeñas de un genotipo en una localidad pero en diferentes años. En los ambientes donde se cultiva trigo de temporal en México se presenta inconsistencia de resultados de acuerdo a los contrastes entre sitios y años (Villaseñor y Espitia, 2000). Por esto las estrategias de evaluación de generaciones de segregantes y variedades mejoradas se contempla la determinación de los entornos de producción, lo que permite generar información aplicable a otros ambientes con condiciones similares. Por lo que es conciso establecer ensayos en el mayor número de ambientes para valorar el potencial de rendimiento y la estabilidad fenotípica de las variedades (Crossa, 1990). La estabilidad fenotípica ha tenido varias interpretaciones, describiendo la biológica y la agronómica. Cuando el genotipo presenta poca variación a través de los ambientes, mostrando un rendimiento constante en cualquier condición de producción, es la estabilidad biológica. Y cuando existe una mínima interacción G x A, la cual está relacionada en generar un incremento de rendimiento, con una extensa variedad de condiciones para la obtención de genotipos estables, conocida como estabilidad agronómica (Becker, 1981).

Interacción genotipo ambiente en la producción de forraje

La interacción genotipo ambiente es de gran importancia en la evaluación de cultivos que son desarrollados para distintos propósitos, incluyendo así la producción de forraje, siendo necesario la integración de la estabilidad para conocer el comportamiento de los genotipos evaluados a través de ambientes contrastantes. Los genotipos deben tener una adaptación amplia donde su comportamiento sea superior en ambientes pobres y ricos, definiendo así, un genotipo deseable, aquel que posee una baja interacción genotipo ambiente, un coeficiente de regresión cercano a 1.0 y un alto rendimiento (Córdova, 1991). Confirmando que el análisis de estabilidad es un instrumento útil para identificar germoplasma potencial para los programas de mejoramiento, de acuerdo a esto, Carballo y Márquez (1970) denominaron a una variedad estable cuando presentan los siguientes datos: $\beta_1=1$, $S_{di}=0$, aunado a una media favorable de rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético utilizado consistió de 22 líneas de trigo harinero sin aristas desarrolladas por el Programa de Cereales de Grano Pequeño de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), se incluyeron tres variedades comerciales como testigo: avena (var. Cuauhtémoc), cebada (Gabyan 95), y triticale (Eronga 83), los cuales se mencionan detalladamente en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Material genético evaluado

Número	Variedad	Número	Variedad	Número	Variedad
1	AN-249-99	10	AN-218-09	19	AN-241-13
2	AN-268-99	11	AN-220-09	20	AN-409-13
3	AN-263-99	12	AN-221-09	21	AN-246-13
4	AN-267-99	13	AN-222-09	22	AN-310-03
5	AN-244-99	14	AN-228-09	23	Avena Cuauhtémoc
6	AN-236-99	15	AN-229-09	24	Cebada GABYAN 95
7	AN-209-09	16	AN-264-09	25	Triticale ERONGA 83
8	AN-216-09	17	AN-326-09		
9	AN-217-09	18	AN-7-09		

Localización y descripción de los sitios experimentales

El presente trabajo fue establecido en tres localidades durante el ciclo agrícola otoño-invierno (O-I), Zaragoza, Coahuila (O-I) 2017-2018 (A1) y 2018-2019 (A2); Navidad, Nuevo León, (O-I) 2018-2019 (A3) y San Ignacio, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, (O-I) 2018-2019 (A4), con la ubicación geográfica y condiciones climáticas que se citan a continuación (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Descripción de los ambientes evaluados

Ambiente	Latitud	Longitud	Altitud	Temperatura media anual	Precipitación pluvial media anual
Zaragoza	28° 28' 31" N	100 °55' 10" W	360 msnm	22 °C	300 a 400 mm
San Ignacio	25° 45' 32" N	102° 58' 58" W	1100 msnm	18 °C	400 mm
Navidad	25° 04' N	100° 56' W	1895 msnm	14 °C	400 mm

Evaluación agronómica

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, esto es: barbecho, rastreo cruzado, nivelación o empareje y surcado. La siembra se realizó de forma manual a “chorrillo” depositando la semilla en el fondo del surcado, con una densidad de siembra de 120 kg/ha⁻¹.

Fertilización

La dosis utilizada fue de 120-80-00

Riegos

En la mayoría de los ambientes se aplicaron cuatro riegos incluyendo el de siembra con una lámina total de 40 cm.

Muestras: Se realizaron tres muestreos (a los 75, 90 y 105 días después de siembra), para conocer las diferentes etapas de los genotipos, y así mismo estimar la producción de forraje de cada uno.

Parcela experimental

El tamaño de la parcela experimental fue de 6.3 m² (6 hileras de 3 m de longitud por 0.35 m de separación entre hileras), por lo tanto, la parcela útil fue de 0.175 m. En cada muestreo se cortó 50 cm de una de las hileras con competencia completa, a una altura aproximada de 5 cm sobre la superficie del suelo.

Datos registrados

De campo:

Altura de planta (ALT): Se midió en cm. dentro de la parcela útil, considerando desde la superficie del suelo hasta la altura más generalizada del extremo superior de las plantas, para el primer muestreo sin considerar el largo de las hojas, y para el segundo y tercer

muestreo la altura más generalizada de las espigas sin tomar en cuenta las aristas cuando fue el caso.

Etapa fenológica de la planta (ETAPA): Se realizó una estimación de la etapa en la que se encontraba el 50% o más de las plantas de cada parcela al momento de muestreo en base a la escala de Zadoks *et al.*, (1974), lo anterior con la finalidad de considerar la precocidad de los diferentes genotipos para establecer comparaciones con los testigos.

Temperatura de planta (TEMP): Se tomaron las lecturas con un termómetro infrarrojo IP-54, de la marca Fluke con mira laser, con precisión de \pm de 0.01 °C, señalando la parte media de cada parcela experimental.

Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI): Al momento de registrar la temperatura de la planta se determinó también el NDVI, utilizando un sensor portátil de la marca GreenSeeker™, el cual cuenta con su propia fuente de luz infrarroja.

Clorofila (CLORO): Se utilizó un clorofilómetro SPAD-420, marca Konica Minolta, tomando la lectura en la parte media de cada 5 hojas bandera de cada parcela, para después hacer un promedio.

Cobertura de terreno (COB): se asignó una enumeración del 1-100, de acuerdo a la ocupación del genotipo en la parcela experimental.

Con el material cosechado en cada muestreo, en la bodega, se procedió a separar manualmente en hojas, tallos y espigas, secado en asoleadero hasta peso constante para obtener peso seco de hojas (FSH), peso seco de tallos (FST) y peso seco de espigas (FSE). El peso se registró en gr/parcela, transformándose a $t\ ha^{-1}$.

Para forraje seco total (FST): Se tomó la suma de forraje de los tres componentes mencionados anteriormente. Los datos se registraron en $t\ ha^{-1}$.

Diseño experimental

Los ensayos se establecieron bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por genotipo para las variables de campo y el análisis global se realizó mediante el modelo combinado sobre localidades.

Análisis estadísticos

Se realizaron análisis de varianza en forma combinada a través de ambientes para cada muestreo, utilizando la siguiente formula:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + \beta_k(j) + C_i + (CA)_{ij} + e_{ijk}$$

Dónde: Y_{ij} = observación del i-ésimo cultivar en el j-ésimo bloque y k-ésima localidad, μ = media general, A_j = efecto del k-ésimo localidad, $\beta_k(j)$ = efecto del j-ésimo bloque dentro del k-ésimo localidad, $(CA)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo cultivar y el k-ésimo localidad, C_i = efecto del i-ésimo cultivar, e_{ijk} = efecto aleatorio del error experimental.

Así también incluyendo pruebas de medias utilizando DMS al 95% de confianza. Una vez detectada la interacción genotipo-ambiente se analizó mediante el modelo de Efectos Principales Aditivos y de Interacción Multiplicativa (AMMI, por sus siglas en inglés), el cual funciona bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{K=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij}$$

donde: Y_{ij} = Rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente, μ = Media general, g_i = Efecto del i-ésimo genotipo, e_j = Efecto del j-ésimo ambiente, λ_k = Raíz cuadrada del valor propio del k-ésimo eje del ACP, $\alpha_{ik} \gamma_{jk}$ = Calificación del ACP para el k-ésimo eje del i-ésimo genotipo y j-ésimo ambiente respectivamente, y R_{ij} = Residual del modelo.

El análisis AMMI se hizo únicamente en las variables de FSTOT, FST, FSH, FSE, NDVI y CLOROFILA, realizando así las gráficas correspondientes para cada variable.

Las calificaciones del Análisis de Componentes Principales (ACP) para los ambientes y genotipos están expresadas como unidades del valor propio correspondiente por la raíz cuadrada del valor propio (Zobel *et al.*, 1988). La suma de cuadrados de la interacción genotipo-ambiente se subdivide en ejes del ACP, donde el eje k posee $g + e - 1 - 2k$ grados de libertad, donde g y e representan el número de genotipos y ambientes, respectivamente. Normalmente son retenidos en el modelo sólo los dos primeros componentes principales (CP); los restantes son enviados al residual. En este modelo las calificaciones asignadas a los genotipos pueden tomar valores positivos o negativos con respecto al componente

principal, siendo considerados genotipos estables aquellos que poseen valores cercanos a cero (menor interacción); valores mayores indican una mayor interacción con los ambientes y dependiendo del signo y el cuadrante de la gráfica generada se realiza una descripción más amplia de los genotipos y ambientes. Adicionalmente los genotipos fueron calificados como deseables si poseen un rendimiento superior a la media general del experimento aunado a menores interacciones con los ambientes. El análisis bajo este modelo se realizó mediante el uso del paquete computacional Statistical Analysis System (SAS, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se inicia este capítulo discutiendo los resultados de los análisis de varianza para cada muestreo, con sus respectivas comparaciones de medias entre ambientes y genotipos, así como correlaciones entre variables. Posteriormente se analiza la interacción genotipo ambiente del forraje seco y sus fracciones.

Primer muestreo

El Cuadro 4.1 muestra que, entre ambientes, hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables, lo cual se debe básicamente a que las condiciones de ensayo fueron contrastantes y que indica que el potencial productivo de cada localidad es diferente (Ramírez *et al.*, 2016). Entre los genotipos evaluados todas las variables exhibieron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) excepto temperatura del dosel, lo que sugiere que los genotipos fueron diferentes entre sí en las variables evaluadas, hecho que puede atribuirse que estos tienen intrínsecamente diferente patrimonio genético, pero que en el caso de la temperatura del dosel mostraron respuesta similar.

Para la interacción genotipo x ambiente (IGA), la temperatura y el NDVI no mostraron diferencias significativas, se reportaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la variable cobertura del terreno y en el resto de variables se detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). Estos resultados demuestran el diferencial existente en el comportamiento de los genotipos en las diferentes localidades, verificándose la adaptabilidad a las condiciones ambientales y de factores de producción que ameritan un análisis más detallado con metodologías diseñadas para el efecto (Marza *et al.*, 2016). Dado que los genotipos mostraron temperaturas similares a través de los ambientes y la no existencia de IGA en este estudio, sugieren que esta variable está determinada casi totalmente por las características climáticas de los ambientes; en cambio el NDVI a pesar de mostrar diferencias entre ambientes y genotipos, no mostró IGA, sugiriendo que los genotipos mostraron un comportamiento similar a través de los ambientes de prueba.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado sobre localidades para las variables evaluadas en el primer muestreo.

F.V.	GL	FSTOT	FST	FSE	FSH	TEMP	ALT	NDVI	COLORO	COB	ETAPA
Ambientes (Amb)	3	30.285**	11.569**	0.045**	9.846**	1637.2**	5828.947**	1.899**	1478.461**	13653.737**	1236.542**
Rep/Amb	8	1.651**	0.426**	0.001	0.441**	37.977	47.613**	0.019**	21.652**	71.381**	9.031**
Genotipos (Gen)	24	1.841**	0.976**	0.008**	0.348**	37.911	239.126**	0.007**	62.311**	171.456**	21.739**
Gen*Amb	72	0.699**	0.223**	0.008**	0.169**	39.685	39.121**	0.004	20.343**	38.362*	9.332**
Error	192	0.371	0.125	0.002	0.106	38.183	11.051	0.003	4.938	26.627	2.922

*, **, Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; F.V.= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura, ETAPA= Etapa fenológica.

La comparación de medias (DMS al 0.05%) para los ambientes de evaluación formó cuatro grupos de significancia para las variables: FSTOT, FST, TEMP, ALT, COB y ETAPA. Reportó tres grupos de significancia en las variables: NDVI y CLORO, mientras que en el resto de las variables solo formó dos grupos de significancia, tal como se aprecia en el Cuadro 4.2.

De acuerdo con ésta prueba de medias, el ambiente 2 (Zaragoza 18-19) favoreció la mayor producción de FSTOT, FST, mayor altura de planta y una mejor cobertura. Coincidiendo con Colín *et al.*, (2007) al registrar el ambiente 5 (Zaragoza) como el más favorable para rendimiento de forraje en un primer muestreo. Por su parte el ambiente 3 (Navidad 18-19) promovió una buena producción de espigas, mayor temperatura de planta y una etapa más avanzada en los genotipos (vainas de la hoja bandera comenzando a ensancharse).

El ambiente menos rendidor fue el 1 (Zaragoza 17-18), con menor FSTOT, FST, FSE, y genotipos con altura más baja, pero con mayores contenidos de clorofila. El ambiente cuatro (San Ignacio 18-19) promovió mayores cantidades de hojas en la planta y altos valores del NDVI, similares a los del ambiente 2.

La alternancia de diferentes ambientes para la selección de genotipos y el establecimiento de experimentos uniformes en una amplia diversidad de condiciones, siguen el objetivo de encontrar genotipos estables y de alta producción (Rodríguez *et al.*, 2002).

En la evaluación de genotipos de trigo en diferentes localidades, existen ciertas diferencias debido a los factores ambientales y orográficos que originan variabilidad fenotípica importantes en las características agronómicas (Velasco *et al.*, 2012).

Cuadro 4.2. Resultados de la comparación de medias de los ambientes de evaluación para las variables del primer muestreo

Variables	Ambiente			
	1	2	3	4
FSTOT	2.406 d	3.898 a	3.193 c	3.526 b
FST	0.887 d	1.777 a	1.642 b	1.373 c
FSE	0.000 b	0.000 b	0.049 a	0.000 b
FSH	1.519 b	2.121 a	1.501 b	2.153 a
TEMP	17.444 b	12.479 c	20.743 a	10.472 d
ALT	42.400 d	63.200 a	57.667 b	53.240 c
NDVI	0.771 b	0.833 a	0.499 c	0.833 a
CLORO	44.717 a	39.424 b	35.616 c	35.108 c
COB	62.133 c	84.680 a	57.933 d	81.533 b
ETAPA	35.280 c	33.613 d	42.813 a	35.867 b

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad). FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura. ETAPA= Etapa fenológica.

La comparación de medias entre los genotipos (DMS al 0.05% de probabilidad) registraron hasta siete grupos de significancia en FSTOT, destacando en el primer grupo el genotipo GABYAN 95 (Cuadro 4.3). En el segundo grupo de significancia se ubicaron los genotipos de trigo: 15, 2, 19, 7 y 3, que estadísticamente superaron a la avena, quien se ubicó en el último grupo de significancia, coincidiendo con Zamora *et al.*, (2017) respecto a la existencia de trigos con mayor producción que la avena.

En el FST se formaron hasta nueve grupos de significancia y de nuevo GABYAN 95 apareció como única integrante del primer grupo. Genotipos como el 15, 2 y 3 conformaron el segundo grupo de medias, superando estadísticamente a la avena que se ubicó nuevamente en el último grupo. En FSE se encontraron cuatro grupos de significancia en el cual GABYAN 95 destacó en el primero, el segundo grupo se integró por ERONGA-83 y los trigos 18, 21, 22 y 19, superando a la avena, que en este muestreo aún no presentaba espigas. Para FSH se observaron ocho grupos de significancia, GABYAN 95 y el genotipo 7 encabezaron el primer grupo, en un siguiente grupo se colocaron los genotipos 13, 5, 9, 15 y 2, superando a ERONGA 83 y a la avena, quienes se postularon en uno de los últimos grupos. La cebada posee un rápido desarrollo en comparación con otros cereales (Domínguez *et al.*, 2016), característica que le permite producir forraje y grano en menor tiempo (Colín *et al.*, 2009; Wilson *et al.*, 2017).

En este muestreo se reportaron promedios de las fracciones de forraje: tallos, hojas y espigas de 2.306, 2.292 y 0.116 t ha⁻¹, respectivamente, que, por el desarrollo del cultivo, prácticamente tallos y hojas resultaron similares. Al calcular la relación hoja-tallo resultó con un valor de 0.99.

En cuanto a temperatura de planta no hubo significancia en el análisis de varianza, pero en la prueba de medias se formaron dos grupos, en el que destacó el genotipo 15, mientras que el resto de los genotipos formaron el segundo y último grupo. Altura de planta estuvo constituido de 13 grupos de significancia, destacando en el primer grupo GABYAN 95, seguido del genotipo 15 en un segundo grupo, superando estadísticamente a los testigos avena y triticale, quienes mostraron menores alturas. En NDVI hubo ocho grupos, el primero encabezado por la cebada y los trigos 7, 19, 9 y 11, estadísticamente superiores a la avena y triticale.

Para el contenido de clorofila se formaron 11 grupos de significancia, en el cual sobresalió ERONGA-83 en el primer grupo, seguido del genotipo 14, avena y los trigos 17 y 22 en el grupo B, todos estos superando a GABYAN 95. En cobertura se registraron siete grupos, destacando únicamente GABYAN 95 en el primer grupo, los genotipos 19, 9 y 10 aparecieron en el segundo grupo, mostrándose superiores a los testigos avena y triticale nuevamente. En un estudio realizado por Zamora *et al.*, (2016) reportan que la mayor cobertura del terreno la logró la cebada, seguido de varios genotipos de trigo, coincidiendo con lo encontrado en el presente estudio.

Los genotipos formaron siete grupos de significancia en la variable etapa fenológica, donde el genotipo 21 fue el único integrante del primer grupo, presentando la etapa más avanzada (hoja bandera expandida). Los genotipos 18, 2 y 3 formaron parte del segundo grupo, superando estadísticamente a la avena, quien se colocó en el último grupo.

Cuadro 4.3. Resultados de la comparación de medias entre genotipos para las variables evaluadas en el primer muestreo

GEN	FSTOT	FST	FSE	FSH	TEMP	ALT	NDVI	CLORO	COB	ETAPA
1	2.778 g	1.056 i	0.000 d	1.722 d-g	15.192 b	47.500 m	0.736 b-h	38.211 e-h	68.667 e-g	35.833 fg
2	3.625 bc	1.713 bc	0.000 d	1.912 b-f	15.450 b	55.000 d-g	0.743 a-e	35.920 jk	69.583 c-g	38.167 a-d
3	3.440 b-e	1.657 bc	0.014 cd	1.769 c-g	15.050 b	55.833 c-f	0.737 a-g	35.646 k	67.667 g	38.000 a-d
4	2.861 fg	1.120 hi	0.000 d	1.741 d-g	14.742 b	52.917 g-k	0.738 a-g	37.018 h-k	70.667 c-g	36.083 fg
5	3.264 c-g	1.306 e-i	0.000 d	1.958 b-d	15.075 b	51.250 i-l	0.757 a-c	37.078 g-k	72.667 b-e	36.833 d-f
6	3.097 d-g	1.301 e-i	0.000 d	1.796 c-g	15.258 b	52.083 h-l	0.726 b-h	38.661 d-h	69.333 c-g	37.500 b-e
7	3.444 b-e	1.347 d-h	0.000 d	2.097 ab	15.517 b	50.833 j-l	0.765 ab	37.330 f-k	71.667 c-g	36.083 fg
8	3.083 d-g	1.208 g-i	0.000 d	1.875 b-g	14.725 b	53.333 f-j	0.746 a-d	38.253 e-h	72.083 c-f	38.167 c-f
9	3.236 c-g	1.292 e-i	0.000 d	1.944 b-e	14.617 b	51.667 h-l	0.763 ab	37.518 f-j	73.417 bc	36.167 e-g
10	2.958 e-g	1.139 hi	0.000 d	1.819 c-g	15.150 b	49.583 lm	0.748 a-d	38.453 d-h	73.083 b-d	35.083 g
11	3.009 d-g	1.250 g-i	0.000 d	1.759 c-g	14.658 b	52.917 g-k	0.763 ab	37.103 g-k	72.417 b-e	35.833 fg
12	3.157 c-g	1.287 f-i	0.000 d	1.870 b-g	14.133 b	51.500 h-l	0.743 a-f	37.830 e-i	69.000 d-g	36.083 fg
13	3.259 c-g	1.255 g-i	0.000 d	2.005 bc	14.592 b	50.417 kl	0.729 b-h	38.496 d-h	72.583 b-e	35.417 g
14	3.259 c-g	1.574 c-e	0.000 d	1.685 e-g	15.350 b	57.500 cd	0.703 e-h	41.669 b	69.750 c-g	37.167 c-f
15	3.866 b	1.926 b	0.000 d	1.940 b-e	23.650 a	62.500 b	0.698 gh	39.509 c-e	69.583 c-g	37.500 b-e
16	3.093 d-g	1.292 e-i	0.000 d	1.801 c-g	14.775 b	50.417 kl	0.736 b-h	36.293 i-k	69.750 c-g	36.833 d-f
17	3.231 c-g	1.366 d-h	0.000 d	1.866 b-g	15.092 b	52.500 g-k	0.700 f-h	40.605 bc	69.500 c-g	37.167 c-f
18	3.287 c-f	1.551 c-f	0.042 bc	1.694 e-g	14.850 b	58.333 c	0.693 h	38.119 e-h	68.167 fg	38.167 a-d
19	3.491 b-d	1.611 cd	0.019 b-d	1.861 b-g	14.325 b	56.667 c-e	0.764 ab	38.382 e-h	76.250 b	37.167 c-f
20	3.102 d-g	1.444 c-g	0.000 d	1.657 f-h	15.242 b	54.167 e-h	0.708 d-h	38.846 c-g	72.917 b-d	37.167 c-f
21	3.074 d-g	1.616 cd	0.042 bc	1.417 h	15.133 b	57.917 c	0.719 c-h	39.450 c-e	69.583 c-g	39.167 a
22	3.213 c-g	1.542 c-f	0.023 b-d	1.648 gh	15.350 b	53.750 f-i	0.719 c-h	40.174 b-d	70.500 c-g	37.500 b-e
23	2.829 fg	1.060 i	0.000 d	1.769 c-g	14.717 b	54.167 e-h	0.719 c-h	41.493 b	71.167 c-g	32.917 h
24	4.713 a	2.306 a	0.116 a	2.292 a	14.808 b	68.750 a	0.778 a	39.081 c-f	87.000 a	38.833 ab
25	3.019 d-g	1.278 f-i	0.051 b	1.690 e-g	14.658 b	51.667 h-l	0.724 b-h	46.759 a	72.250 b-f	38.500 a-c
Media	3.256	1.420	0.012	1.824	15.284	54.127	0.734	38.716	71.570	36.893

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad). FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura. ETAPA= Etapa fenológica.

Correlaciones entre variables

Con el objetivo de establecer relaciones entre pares de variables se realizaron correlaciones a través de ambientes (Cuadro 4.4), las cuales mostraron que FSTOT fue la variable que más se asoció con otras, ya que mantuvo asociación positiva y significativa con FST, FSH y ALT explicando que dichas fracciones tuvieron un mayor aporte a la producción de materia seca, junto con la altura de planta. El forraje seco de hojas además exhibió una relación positiva y significativa con la COB. El NDVI se correlacionó significativa y positivamente con COB, pero negativamente con ETAPA, lo cual indica que la mayor etapa fenológica del cultivo se relaciona con menor índice de verdor. El contenido de clorofila y temperatura del dosel no se asociaron significativamente con ninguna otra variable.

Torres *et al.*, (2019) reportaron resultados similares en cuanto a la asociación negativa y significativa del NDVI con ETAPA en cebada muestreada a los 75 dds.

Cuadro 4.4. Correlaciones entre variables a través de ambientes para el primer muestreo

	FSTOT	FST	FSE	FSH	TEMP	ALT	NDVI	COLORO	COB	ETAPA
FSTOT	1	0.894*	0.276	0.825*	-0.207	0.652*	0.214	-0.266	0.536	0.036
FST		1	0.331	0.490	-0.032	0.758*	-0.058	-0.261	0.305	0.269
FSE			1	0.009	0.137	0.276	-0.285	0.039	-0.134	0.474
FSH				1	-0.376	0.321	0.516	-0.207	0.684*	-0.308
TEMP					1	-0.042	-0.467	0.133	-0.488	0.315
ALT						1	-0.057	-0.314	0.405	0.193
NDVI							1	0.148	0.727*	-0.707*
COLORO								1	-0.169	-0.253
COB									1	-0.487
ETAPA										1

*= Significativa al 0.05 de probabilidad. FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura, ETAPA= Etapa fenológica.

Segundo muestreo

En el Cuadro 4.5 se observa que entre ambientes existieron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en todas las variables, lo cual se explica al considerar las diferentes condiciones ambientales de cada localidad de evaluación. En lo que respecta a genotipos todas las variables mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), excepto temperatura de dosel (al igual que en el primer muestreo), debido posiblemente a que es una variable altamente afectada por el ambiente, a pesar de que los genotipos fueron de diferente especie; estos resultados sugieren que existe variabilidad fenotípica entre genotipos de trigo harinero y en los testigos evaluados, que podría ser de utilidad para identificar líneas avanzadas y darle seguimiento en un programa de mejoramiento (Velasco *et al.*, 2012).

En la interacción genotipo por ambiente (IGA), el forraje seco total, forraje seco de tallos y de hojas no exhibieron diferencias significativas, se reportaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la variable NDVI, y en el resto de variables hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). La ausencia de significancia en la IGA para FSTOT, FST y FSH indica que los genotipos respondieron de manera similar a través de los ambientes, posiblemente porque han sido seleccionados por su alta producción de forraje en esta etapa y otras más avanzadas, en tanto que las variables FSE, ALT, CLORO, COB y ETAPA, mostraron un comportamiento diferencial influenciado por la fecha de siembra y características climáticas y edáficas de las localidades (Colín *et al.*, 2007; Juskiw *et al.*, 2000).

Cuadro 4.5. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado sobre localidades para las variables evaluadas en el segundo muestreo

F.V.	GL	FSTOT	FST	FSE	FSH	TEMP	ALT	NDVI	COLORO	COB	ETAPA
Ambientes (Amb)	3	157.557**	56.087**	16.979**	85.967**	603.205**	5463.639**	2.654**	3061.412**	18133.889**	24888.519**
Rep/Amb	8	0.698	0.262	0.061	0.051	6.088**	53.751*	0.011**	13.039	114.671**	20.631*
Genotipos (Gen)	24	5.339**	2.478**	0.576**	1.291**	0.561	533.285**	0.007**	82.062**	148.375**	146.923**
Gen*Amb	72	1.155	0.471	0.165**	0.266	0.899**	81.636**	0.003*	20.209**	42.162**	23.246**
EE	192	1.301	0.447	0.052	0.267	0.526	26.841	0.002	7.071	18.333	8.381

*, **, Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; F.V.= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura, ETAPA= Etapa fenológica.

Los resultados de la comparación de medias (DMS al 0.05%) entre los ambientes de evaluación se muestran en el Cuadro 4.6. Se formaron cuatro grupos de significancia para las variables FSH, ALT, CLORO, COB Y ETAPA, mientras que para FSTOT, FST, FSE, TEMP y NDVI se formaron tres grupos.

Conforme esta prueba de medias, el ambiente 4 (San Ignacio 18-19) mostró la mayor producción de FSTOT, FST, FSH y una mayor cobertura a los 90 dds. El ambiente 3 (Navidad 18-19) promovió una buena producción de espigas, mayor temperatura de dosel y una etapa fenológica más avanzada (antésis). Resultados contrastantes reportados por Colín *et al.*, (2007) al haber obtenido una etapa fenológica menos avanzada en los genotipos de cebada evaluados en Navidad, N.L.

El menos productivo fue el ambiente 1 (Zaragoza 17-18) con menor FSTOT, FST, genotipos con menor altura y menor cobertura de terreno, sin embargo, presentó mayor contenido de clorofila. El ambiente 2 (Zaragoza 18-19) únicamente promovió mayor altura de los genotipos y valores del NDVI similares al del ambiente 4 (San Ignacio 18-19).

Cuadro 4.6. Resultados de la comparación de medias de los ambientes de evaluación para las variables del segundo muestreo

Variables	Ambiente			
	1	2	3	4
FSTOT	4.852 c	6.867 b	4.938 c	7.775 a
FST	2.225 c	3.817 a	2.533 b	3.902 a
FSE	0.383 b	0.376 b	1.172 a	0.054 c
FSH	2.244 c	2.674 b	1.233 d	3.819 a
TEMP	20.375 b	17.300 c	23.312 a	17.488 c
ALT	73.933 d	93.800 a	84.133 c	89.267 b
NDVI	0.743 b	0.816 a	0.418 c	0.806 a
CLORO	48.117 a	42.037 b	32.641 d	41.010 c
COB	57.600 d	84.733 b	65.667 c	90.533 a
ETAPA	43.627 c	49.720 b	60.387 a	40.813 d

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad). FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forrajes seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura. ETAPA= Etapa fenológica.

La comparación de medias entre genotipos evaluados en este segundo muestreo (DMS al 0.05% de probabilidad), registraron ocho grupos de significancia para la variable FSTOT, en el cual el primer grupo estuvo integrado por GABYAN 95 y el genotipo 19 (Cuadro 4.7). En el segundo grupo sobresalieron los genotipos de trigo: 15, 3 y 2, superando estadísticamente a la avena Cuauhtémoc. En FST se formaron 10 grupos, donde sobresalió GABYAN 95 y el genotipo 19, colocándose en el primer grupo. Genotipos de trigo como: el 3, 22 y 15 ocuparon el segundo grupo, superando significativamente a los testigos triticale y avena. En FSE existieron 10 grupos estadísticos, donde se ubicaron los genotipos de trigo: 21, 22, 19 y 2 en un primer grupo, y en un segundo se colocaron: el triticale, genotipo 20 y cebada, todos ellos superando en producción de espigas a la avena. Para FSH se encontraron hasta 10 grupos, donde GABYAN 95 y los trigos: 9, 10, 13 y 7 se ubicaron en el primer grupo, venciendo significativamente al genotipo 21 y ERONGA 83, los cuales formaron parte del último grupo significativo.

Lozano *et al.*, (2009) reportaron que el rendimiento promedio obtenido en triticales forrajeros para un segundo corte oscilo entre 3.541 y 5.355 t ha⁻¹; siendo este resultado menor a la producción de forraje seco total obtenido en este muestreo, que fue de 5.810 t ha⁻¹.

En temperatura de dosel, aunque el análisis de varianza no detectó significancia se formaron hasta cuatro grupos, donde sobresalió el genotipo 14 en el primero, y en el último se colocó el genotipo 21, existiendo una mínima diferencia entre ellos de 0.916 °C. Altura de planta se constituyó de 11 grupos de significancia, destacando GABYAN 95, el genotipo 21 y 15 en el primer grupo, superando a la avena y triticale, quienes alcanzaron una altura promedio de 87 cm, siendo estos los promedios menores; mientras que Murillo *et al.*, (2001) reportaron que la altura promedio de los triticales de invierno fue de 62.8 cm, donde las mediciones se tomaron a los 115, 145, 165 y 177 dds, cabe mencionar que estos valores fueron menores a los reportados en este segundo muestreo.

En el NDVI hubo nueve grupos estadísticos, donde se situaron genotipos de trigo, tales como: el 9, 12, 5, 19 y el testigo avena, en el primer grupo, significativa y estadísticamente superaron al triticale. En Clorofila se registraron once grupos estadísticos, donde únicamente ERONGA 83 se ubicó en el primer grupo, y en el grupo B se colocaron los genotipos 14, 21 y la avena, superando notoriamente a GABYAN 95. En los programas

de mejoramiento de cereales, para que un carácter sea utilizado como criterio de selección, debe de ser fácil de medir y económico, tal como lo es el SPAD para medir clorofila de las hojas, además de no ser un método destructivo (González, 2009). En cobertura de terreno se formaron ocho grupos de significancia, donde exclusivamente GABYAN 95 ocupó el primer grupo. En el segundo grupo se integraron la avena, y los genotipos 11 y 9, superando a triticales ERONGA 83.

En etapa fenológica se reportaron siete grupos de significancia, donde los genotipos de trigo: 21, 22, 18 y triticales formaron la primera agrupación, mostrando la etapa más avanzada (Emergencia completa de la espiga). Según Zhang y Liu (2014) la etapa del ciclo del trigo más relacionada con la producción y el rendimiento para grano coincide con el final de la etapa de espigado (espiga totalmente visible). Mientras que la avena Cuauhtémoc mostró una etapa donde la vaina de la hoja bandera se abre, formando así parte del último grupo

Cuadro 4.7. Resultados de la comparación de medias entre genotipos para las variables evaluadas en el segundo muestreo

GEN	FSTOT	FST	FSE	FSH	TEMP	ALT	NDVI	COLORO	COB	ETAPA
1	5.491 f-h	2.708 h-j	0.278 j	2.505 b-h	19.833 a-d	75.833 k	0.713 a-d	39.100 i-k	73.750 c-g	50.833 e-g
2	6.607 b-e	3.343 c-f	0.773 a-c	2.491 b-h	19.908 ab	85.000 e-g	0.687 d-h	39.088 i-k	73.500 d-h	55.333 c
3	6.667 b-d	3.727 bc	0.676 b-e	2.264 f-i	19.842 a-d	85.000 e-g	0.689 c-h	38.691 jk	72.917 d-h	55.333 c
4	5.759 d-h	3.116 d-i	0.292 h-j	2.352 e-i	19.783 a-d	80.000 h-k	0.713 a-d	38.805 jk	74.167 c-g	51.833 d-f
5	5.912 c-h	2.866 f-i	0.287 ij	2.759 a-e	19.658 a-d	81.250 g-j	0.726 ab	38.242 k	76.167 cd	50.667 e-g
6	5.940 c-h	3.042 e-i	0.468 f-i	2.431 d-h	19.758 a-d	84.167 e-h	0.679 d-i	41.305 d-h	71.083 gh	54.667 c
7	5.857 c-h	2.722 g-j	0.282 j	2.852 a-c	19.642 a-d	78.750 i-k	0.701 a-f	39.326 h-k	74.250 c-g	50.833 e-g
8	5.444 gh	2.699 ij	0.273 j	2.472 c-h	19.650 a-d	81.250 g-j	0.711 a-e	40.450 f-j	75.667 c-e	51.333 e-g
9	6.319 c-g	3.116 d-i	0.315 h-j	2.889 ab	19.583 b-d	80.000 h-k	0.735 a	39.158 i-k	77.000 bc	49.500 g
10	5.838 c-h	2.741 g-j	0.250 j	2.847 a-c	19.633 a-d	77.917 jk	0.714 a-d	39.395 h-k	75.500 c-e	49.667 fg
11	6.245 c-g	3.000 e-i	0.472 f-h	2.773 a-d	19.658 a-d	82.917 f-i	0.685 d-i	40.807 e-j	77.083 bc	52.000 de
12	5.676 f-h	2.778 g-j	0.241 j	2.657 c-f	19.317 cd	80.000 h-k	0.727 ab	39.660 g-k	74.333 c-g	50.833 e-g
13	6.032 c-h	2.944 e-i	0.241 j	2.847 a-c	19.358 b-d	80.417 h-j	0.713 a-d	39.988 g-k	76.250 cd	49.500 g
14	5.995 c-h	3.259 c-g	0.542 d-f	2.194 g-j	20.183 a	90.417 cd	0.655 hi	45.367 b	71.500 gh	55.333 c
15	6.699 bc	3.440 b-e	0.606 c-f	2.653 b-f	19.542 b-d	95.833 ab	0.698 c-g	42.505 c-f	73.667 c-g	54.833 c
16	5.407 gh	2.847 f-i	0.296 h-j	2.264 f-i	19.517 b-d	79.167 i-k	0.703 a-e	38.243 k	72.333 e-h	52.167 de
17	5.732 e-h	2.829 f-i	0.519 e-g	2.384 d-i	19.567 b-d	80.417 h-j	0.663 g-i	40.978 e-i	72.333 e-h	53.833 cd
18	6.014 c-h	3.245 c-h	0.625 c-f	2.144 g-j	19.692 a-d	92.083 b-d	0.651 i	40.981 e-i	70.167 h	59.000 a
19	7.435 ab	3.935 ab	0.750 a-c	2.750 b-e	19.325 b-d	92.917 bc	0.723 a-c	42.803 c-e	76.333 cd	55.500 c
20	5.949 c-h	3.088 e-i	0.718 b-d	2.144 g-j	19.458 b-d	87.917 de	0.667 f-i	40.052 g-k	75.000 c-f	57.833 ab
21	5.991 c-h	3.250 c-g	0.921 a	1.819 j	19.267 d	99.583 a	0.667 f-i	44.307 bc	71.833 f-h	59.500 a
22	6.403 c-f	3.583 b-d	0.815 ab	2.005 ij	19.467 b-d	85.833 ef	0.677 e-i	41.671 d-g	71.083 gh	59.500 a
23	5.167 h	2.282 j	0.338 g-j	2.546 b-g	19.525 b-d	87.917 de	0.728 ab	43.268 b-d	80.083 b	47.083 h
24	8.310 a	4.440 a	0.704 b-d	3.167 a	19.408 b-d	99.583 a	0.708 a-e	40.199 g-k	87.333 a	55.833 bc
25	5.810 c-h	2.982 e-i	0.727 bc	2.102 h-j	19.892 a-c	87.917 de	0.663 g-i	49.767 a	72.500 e-h	58.167 a
Media	6.108	3.119	0.496	2.492	19.619	85.283	0.696	40.966	74.633	53.637

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad). FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forrajes seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura. ETAPA= Etapa fenológica.

Correlaciones entre variables

Los resultados de las relaciones entre pares de variables a través de ambientes se muestran en el Cuadro 4.8, donde se observa que FSTOT se asoció significativa y positivamente con forraje seco de tallos (FST), hojas (FSH) y cobertura de terreno (COB), sugiriendo que estos componentes son los que más aportan a un total de materia seca. El rendimiento de forraje representa un atributo que depende de otras variables, por lo tanto, cada variable mencionada influyó en el peso seco (Morant *et al.*, 2010).

Forraje seco de tallos se relacionó de manera adicional y positivamente con altura de planta y cobertura, indicando que cuanto más alta la planta mayor será la producción de tallos. FSE se asoció positiva y significativamente con TEMP y ETAPA, pero negativamente con FSH y NDVI, indicando que conforme avanza el estado fenológico de la planta, aumenta la temperatura y las espigas comienzan a presentarse, sin embargo, la presencia de hojas y el índice de verdor disminuyen. El FSH presentó también una relación positiva y significativa con NDVI y COB, esto explica que mayor NDVI se relaciona con mayor cantidad de hojas y por consiguiente una mayor cobertura de terreno. Además, como se asentó anteriormente FSH se relacionó con el FSTOT y menor FSE, añadiendo su relación negativa y significativa con la TEMP debido sin duda a la transpiración que ocurre en dicho componente de forraje. De nuevo se detectó la asociación negativa y significativa entre NDVI y ETAPA previamente señalada.

Cuadro. 4.8. Correlaciones entre variables a través de ambientes para el segundo muestreo

	FSTOT	FST	FSE	FSH	TEMP	ALT	NDVI	COLORO	COB	ETAPA
FSTOT	1	0.929*	-0.134	0.766*	-0.593	0.525	0.467	0.031	0.733*	-0.339
FST		1	-0.082	0.556	-0.562	0.615*	0.401	-0.023	0.698*	-0.217
FSE			1	-0.628*	0.647*	0.094	-0.736*	-0.369	-0.390	0.805*
FSH				1	-0.723*	0.196	0.722*	0.255	0.689*	-0.731
TEMP					1	-0.385	-0.870*	-0.368	-0.695*	0.744*
ALT						1	0.170	-0.129	0.568	0.086
NDVI							1	0.555	0.513	-0.893*
COLORO								1	-0.118	-0.623
COB									1	-0.347
ETAPA										1

*= Significativa al 0.05 de probabilidad. FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura, ETAPA= Etapa fenológica.

Tercer muestreo

En el Cuadro 4.9 se presentan los resultados del ANVA y sus significancias para este último muestreo. Se muestra que entre ambientes existió diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables evaluadas. Por lo tanto, a pesar de la diferente ubicación de cada localidad, se puede indicar que el efecto ambiental tiene alta influencia sobre las variables estudiadas. A diferencia de los muestreos anteriores, en este todas las variables mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los genotipos, posibilitando la selección en las variables de interés.

En la interacción genotipo x ambiente (IGA) el FSTOT y FST no mostraron diferencias significativas, sugiriendo que los genotipos mostraron un comportamiento similar a través de los ambientes evaluados y que posiblemente se deba a que fueron seleccionados bajo condiciones similares. Adicionalmente se reportaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la variable FSH sugiriendo que esta variable interaccionó poco con los ambientes y en el resto de variables se reportaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). El ANVA únicamente indica si hay interacción genotipo ambiente, pero no proporciona una información cuantitativa del comportamiento de los genotipos a través de ambientes (Yan y Hunt, 1998).

Cuadro 4.9. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado sobre localidades para las variables evaluadas en el tercer muestreo

F.V	GL	FSTOT	FST	FSE	FSH	TEMP	ALT	NDVI	COLORO	COB	ETAPA
Ambientes (Amb)	3	445.737**	224.244**	26.429**	120.419**	889.022**	32504.751**	2.509**	4350.847**	7661.502**	6683.996**
Rep/Amb	8	2.571	0.974	0.241	0.431	16.116**	50.501	0.009**	29.101**	48.011**	6.501*
Genotipos (Gen)	24	8.889**	3.185**	2.973**	1.968**	2.621**	746.792**	0.013**	133.401**	106.458**	162.909**
Gen*Amb	72	2.161	0.989	0.403**	0.551*	2.251**	84.264**	0.006**	27.528**	22.275**	55.637**
EE	192	2.629	0.845	0.226	0.361	1.246	25.5	0.003	7.562	13.038	2.844

*, **, Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; F.V.= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura, ETAPA= Etapa fenológica.

La comparación de medias (DMS al 0.05% de probabilidad) para los ambientes evaluados en éste tercer muestreo realizado a los 105 dds, formó hasta cuatro grupos de significancia en las variables FSTOT, FST, TEMP, ALT, CLORO, COB y ETAPA; para el resto de las variables se formaron tres grupos (Cuadro 4.10).

En este muestreo, el ambiente 4 (San Ignacio 18-19) destacó en producción de forraje seco total, tallos, hojas, mayor altura de planta, y una mejor cobertura. Hortelano *et al.* (2013) al evaluar genotipos de trigo harinero, observaron que en las localidades donde obtuvo mayor rendimiento también presentó mayor altura de planta, tal como ocurrió en el ambiente 4.

El ambiente 3 (Navidad 18-19) fue el menos productivo en FSTOT, FST, genotipos con menor altura, menor clorofila, y menor cobertura de terreno, sin embargo, presentó mayor producción de espigas, mayor temperatura, y una etapa más avanzada (grano pastoso duro). En este muestreo la etapa fenológica fue desde la 63 a la 86.

El ambiente 1 (Zaragoza 17-18) promovió mayor contenido de clorofila en los genotipos, y el ambiente 2 (Zaragoza 18-19) se caracterizó por presentar valores similares en NDVI al del ambiente 4.

La significancia detectada entre ambientes confirmó las diferencias entre localidades, principalmente por el clima, tipo de suelo y genotipos evaluados (Lozano *et al.*, 2009).

Cuadro 4.10. Resultados de la comparación de medias de los ambientes de evaluación para las variables del tercer muestreo

Variables	Ambiente			
	1	2	3	4
FSTOT	7.927 c	10.272 b	7.104 d	12.505 a
FST	3.636 c	5.650 b	3.076 d	6.781 a
FSE	1.787 b	1.931 b	2.829 a	1.434 c
FSH	2.504 b	2.691 b	1.199 c	4.290 a
TEMP	25.693 b	20.411 d	28.695 a	24.220 c
ALT	92.000 c	123.000 b	85.400 d	125.800 a
NDVI	0.637 b	0.671 a	0.301 c	0.685 a
CLORO	45.431 a	43.379 c	29.254 d	44.374 b
COB	80.600 c	82.427 b	67.533 d	92.107 a
ETAPA	70.573 c	71.507 b	86.120 a	63.667 d

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad). FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forrajes seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura. ETAPA=Etapa fenológica.

La comparación de medias entre genotipos (DMS al 0.05% de probabilidad) para el tercer muestreo, registró hasta 10 grupos de significancia en FSTOT, destacando GABYAN 95 y los trigos 15, 20 y 9 en el primer grupo (Cuadro 4.11). En el segundo se ubicaron los genotipos de trigo: 2, 14, 19, 22, 3 y 2, superando estadísticamente a la avena Cuauhtémoc. En FST existieron ocho grupos, donde GABYAN 95 encabezó el primero junto con varios genotipos de trigo, entre ellos: el 15, 20, 14 y 18. En el grupo B solamente estuvo el genotipo 2, todos estos genotipos mencionados presentaron mayor producción de tallos que la avena, la cual se colocó en el último grupo.

En FSE se encontraron 14 grupos de significancia, destacando en el primer grupo únicamente los genotipos de trigo: 2, 21, 20, 22 y 3, superando nuevamente a la avena. Para FSH se observan nueve grupos, en el cual GABYAN 95 junto con los trigos 9, 7, 13 y el testigo avena ocuparon el primer grupo. Y en un segundo grupo se ubicó el genotipo 11, estadísticamente superior al genotipo 21 y al testigo triticales que se reportaron en último lugar. En cuanto a producción de materia seca por corte, se confirmó que la cebada forrajera es el cereal de mayor producción, superando a la avena, luego al trigo y triticales (Tomaso, 2009).

En la temperatura de planta se formaron seis grupos, donde en el primer grupo destacaron genotipos de trigo: 2, 20, 18, 15, y con menores temperaturas el genotipo 7 y la avena se colocaron en un último grupo. La influencia de la temperatura es de suma importancia en el crecimiento y desarrollo de las plantas; ya que este factor afecta los procesos de desarrollo como iniciación de primordios florales, iniciación floral, formación de la espiguilla terminal en trigo o máximo número de primordios en cebada, antesis y madurez fisiológica (López y Richards, 1994). En el caso particular de este estudio solo hasta los 105 dds, el análisis de varianza detectó significancia entre los genotipos, tal vez por coincidir con las mayores temperaturas ambientales de las localidades de prueba o influenciada ésta variable por la etapa fenológica de los genotipos.

Altura de planta reportó hasta 13 grupos estadísticos, sobresaliendo en el primer grupo el genotipo 21 y ERONGA 83, seguido del genotipo 15 y 19 en el segundo grupo. Por otro lado, el genotipo 17 se colocó en el último lugar, y los testigos avena y cebada presentaron altura intermedia. En NDVI se obtuvieron nueve grupos, destacando en el primero la avena y los genotipos de trigo: 19, 1, 4 y 5, que estadísticamente superaron al triticales;

cabe destacar que el NDVI fue disminuyendo conforme el crecimiento del cultivo fue avanzando. En general se observó de un muestreo a otro el incremento de temperatura, altura, y etapa, combinado con un valor menor de NDVI, coincidiendo con Torres *et al.*, (2019).

Para la variable Clorofila se formaron nueve grupos de significancia, donde destacó ERONGA 83 como único integrante del primer grupo, seguido de avena Cuauhtémoc en el grupo B, todos estos superando al genotipo 16 y GABYAN 95, quienes presentaron los contenidos de clorofila más bajos.

En cobertura de terreno se registraron nueve grupos, donde GABYAN 95 y avena Cuauhtémoc ocuparon el primer grupo, el genotipo 19 ocupó el segundo grupo estadístico, mostrando superioridad al genotipo 18 y triticale. En Etapa los genotipos conformaron también nueve grupos, donde destacó GABYAN 95 con la etapa más avanzada (grano lechoso tardío) en el primer grupo; seguido de los trigos: 18, 20, 21 y 22 en una segunda agrupación, superando significativamente a la avena, que presentaba comienzo de antésis, ocupando el último grupo y calificándose como las más tardía.

De acuerdo a los resultados obtenidos en estos muestreos, se tuvo que a los 75 dds los genotipos con menor altura fueron los que menor cantidad de hojas presentaron. A los 90 y 105 dds los genotipos más bajos tuvieron una producción intermedia de hojas. Sin embargo, los genotipos con mayor altura promovieron una mayor producción de hojas, excepto en el tercer muestreo. Dichos hallazgos fueron contradictorios a los reportados por Feyissa *et al.*, (2008), al citar que las variedades más cortas de avena tenían una mayor proporción de hojas a comparación de las variedades más altas.

Cuadro 4.11. Resultados de la comparación de medias entre genotipos para las variables evaluadas en el tercer muestreo

GEN	FSTOT	FST	FSE	FSH	TEMP	ALT	NDVI	CLORO	COB	ETAPA
1	8.778 f-j	4.282 gh	1.870 g-k	2.625 d-h	24.950 a-e	100.417 j-l	0.601 a-c	39.283 e-i	77.917 i-k	74.000 de
2	10.139 b-e	4.954 b-g	2.815 a	2.370 f-h	25.500 a	104.167 h-j	0.528 hi	37.828 hi	78.750 f-k	75.750 bc
3	9.713 b-h	4.796 c-g	2.477 a-d	2.440 e-h	24.992 a-e	104.583 hi	0.537 f-h	38.288 g-i	78.333 g-k	75.250 b-d
4	8.657 g-j	4.370 gh	1.607 j-m	2.681 c-g	25.725 a-f	100.000 k-m	0.601 a-c	37.668 hi	80.833 d-h	71.750 f
5	9.454 c-i	4.764 c-g	1.833 h-l	2.857 c-e	24.233 d-f	100.833 i-l	0.594 a-c	37.983 g.i	80.833 d-h	69.500 gh
6	9.056 d-i	4.458 f-h	2.134 e-h	2.463 e-h	24.967 a-e	105.417 gh	0.582 c-e	41.116 e-f	77.917 i-k	75.333 b-d
7	9.120 d-i	4.532 d-h	1.426 m	3.162 a-c	24.000 f	100.833 i-l	0.583 c-e	39.353 e-i	80.417 d-i	68.833 h
8	9.153 d-i	4.472 e-h	1.787 h-m	2.894 c-e	24.483 c-f	99.583 k-m	0.576 c-f	37.698 hi	80.833 d-h	70.000 gh
9	10.301 a-d	5.208 a-e	1.708 i-m	3.384 ab	24.375 c-f	100.417 j-l	0.593 b-d	39.152 f-i	82.750 cd	69.333 gh
10	8.528 h-j	4.301 gh	1.509 k-m	2.718 c-f	24.208 ef	98.750 lm	0.599 a-c	38.512 f-i	82.500 cd	69.167 h
11	9.417 c-i	4.593 d-h	1.829 h-l	2.995 b-d	24.333 d-f	102.917 h-k	0.570 c-g	39.669 e-h	82.500 cd	71.500 f
12	8.588 g-j	4.306 gh	1.565 j-m	2.718 c-f	24.617 a-f	99.167 k-m	0.589 c-e	38.395 g-i	79.583 e-k	70.667 fg
13	8.852 e-j	4.286 gh	1.454 lm	3.130 a-c	24.300 d-f	98.333 lm	0.597 a-c	39.322 e-i	81.250 d-f	69.750 gh
14	10.037 b-f	5.401 a-c	2.074 e-i	2.556 d-h	25.258 a-c	113.333 de	0.551 e-h	44.372 c	78.750 f-k	75.417 bc
15	10.778 ab	5.671 ab	2.417 b-e	2.690 c-f	25.467 ab	118.333 bc	0.565 c-h	44.130 c	78.500 f-k	75.833 bc
16	9.153 d-i	4.597 d-h	1.917 f-j	2.639 d-g	24.233 d-f	100.417 j-l	0.596 a-c	37.335 i	80.000 h-j	73.833 e
17	8.241 ij	4.005 h	1.931 f-j	2.306 f-i	24.575 b-f	96.250 m	0.527 hi	38.131 g-i	77.500 jk	74.500 c-e
18	9.611 b-h	5.171 a-f	2.236 c-g	2.204 g-i	25.450 ab	112.917 de	0.534 g-i	40.833 ef	77.083 k	76.167 b
19	9.991 b-f	5.227 a-d	2.227 c-g	2.537 d-h	24.342 d-f	115.833 bc	0.632 ab	40.166 e-g	85.000 bc	75.417 bc
20	10.537 a-c	5.542 ab	2.551 a-c	2.444 e-h	25.475 a	113.333 de	0.567 c-h	41.411 de	81.917 de	76.167 b
21	9.708 b-h	5.130 a-f	2.732 ab	1.847 i	24.925 a-e	122.500 a	0.588 c-e	44.254 c	81.000 d-g	76.000 b
22	9.838 b-g	5.194 a-f	2.500 a-d	2.144 hi	25.108 a-d	108.750 fg	0.551 e-h	43.099 cd	78.083 h-k	76.000 b
23	7.634 j	3.889 h	0.593 n	3.153 a-c	24.275 d-f	111.667 ef	0.635 a	46.634 b	86.833 ab	61.500 i
24	11.560 a	5.722 a	2.273 c-f	3.565 a	25.067 a-e	113.750 de	0.553 d-h	39.475 e-i	89.250 a	78.000 a
25	9.463 c-i	4.782 c-g	2.421 b-e	2.259 f-i	25.008 a-e	121.250 ab	0.494 i	51.132 a	78.333 g-k	74.500 c-e
Media	9.452	4.786	1.995	2.671	24.755	106.550	0.574	40.609	80.667	72.967

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad). FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forrajes seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura. ETAPA= Etapa fenológica.

Correlaciones entre variables

Los resultados de las relaciones entre variables a través de ambientes se muestran en el Cuadro 4.12, donde se observa que COB fue la variable que más se relacionó con otras; de manera positiva y significativa con FSTOT, FST, FSH, ALT y NDVI. Indicando que el total de materia seca y algunas fracciones, incluyendo la altura de los genotipos aumentan la cobertura, y el valor del NDVI. La correlación positiva explica la fuerza y la dirección lineal que se establece entre cada par de variables aleatorias (Triola, 2009).

NDVI se asoció de manera positiva y significativamente con FSH, es decir que entre mayor sea la proporción de hojas, mayor será el índice de verdor, y es bien conocido que la magnitud del área foliar define la capacidad de la cubierta vegetal (Tsuji *et al.*, 1994), tal como se muestra la asociación positiva con clorofila; y de manera negativa con FSE y TEMP, esto indica que, a mayor presencia de espigas el valor del NDVI decrece junto con la temperatura. El FSH se correlacionó de manera positiva y significativa con FSTOT y FST, siendo estas fracciones las que aumentan el total de forraje. Altura de planta se asoció positivamente con FSTOT y FST, pero negativamente con TEMP. Por último, Etapa se asoció positivamente con FSE y negativamente con FSH, NDVI, CLORO y COB, explicando que el avance de la fenología, incrementa la producción de espigas, disminuyendo la presencia de hojas, el NDVI, la clorofila y la cobertura de terreno, de acuerdo a la madurez del cultivo.

Cuadro 4.12. Correlaciones entre variables a través de ambientes para el tercer muestreo

	FSTOT	FST	FSE	FSH	TEMP	ALT	NDVI	CLORO	COB	ETAPA
FSTOT	1	0.959*	-0.039	0.773*	-0.439	0.717*	0.514	0.388	0.664*	-0.468
FST		1	-0.137	0.696*	-0.514	0.799*	0.546	0.403	0.679*	-0.478
FSE			1	-0.549	0.379	-0.258	-0.606*	-0.402	-0.560	0.733*
FSH				1	-0.450	0.552	0.709*	0.512	0.807*	-0.790*
TEMP					1	-0.635*	-0.708*	-0.492	-0.540	0.538
ALT						1	0.595	0.526	0.689*	-0.461
NDVI							1	0.755*	0.786*	-0.834*
CLORO								1	0.585	-0.668*
COB									1	-0.739*
ETAPA										1

*= Significativa al 0.05 de probabilidad. FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, TEMP= Temperatura de dosel, ALT= Altura de planta, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila, COB= Cobertura, ETAPA= Etapa fenológica.

Interacción genotipo ambiente para el primer muestreo

Dado que el análisis de varianza para el primer muestreo presentó alta significancia estadística para la interacción genotipo ambiente (IGA) en casi todas las variables, excepto para temperatura y NDVI, se procedió a realizar el análisis de la IGA mediante el modelo de efectos principales aditivos y de interacción multiplicativa (AMMI), solo para las variables productivas y el contenido de clorofila y el NDVI, usando para ello la rutina desarrollada por Vargas y Crossa (2000), que contempla las repeticiones como un factor principal.

Se aprecia en el Cuadro 4.13, que excepto en el NDVI, la IGA resultó altamente significativa y el primer componente fue altamente significativo para todas las variables, en tanto que el segundo componente mostró significancia al ($P \leq 0.05$) únicamente en la variable FSH.

Cuadro 4.13. Cuadrados medios y significancia del AMMI para el primer muestreo

F.V	GL	FSTOT	FST	FSE	FSH	NDVI	COLORO
Repeticiones (Rep)	2	5.571**	1.228**	0.001	1.585**	0.004**	22.841*
Ambientes (Amb)	3	30.285**	11.569**	0.045**	9.846**	1.899**	1478.46**
Genotipos (Gen)	24	1.840**	0.976**	0.008**	0.347**	0.006**	62.310**
AMBxGEN	72	0.699**	0.223**	0.008**	0.169**	0.003	20.342**
CP1	26	1.219**	0.413**	0.024**	0.221**	0.006**	47.732**
CP2	24	0.495	0.134	0	0.181*	0.002	6.344
Residual	22	0.306	0.096	0	0.095	0.001	3.245

F. V= Fuente de variación, GL= Grados de libertad. FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila

El análisis AMMI mostró que la IGA es explicada con los primeros dos componentes principales (CP), donde el 82% de la IGA correspondió al FSH, siendo éste el porcentaje más bajo obtenido; mientras que para FSTOT, FST, NDVI y CLORO se explicó más del 85%, a diferencia del FSE que fue explicada en un 100%, únicamente con el primer CP, lo cual permite una explicación confiable de la IGA, siendo mayor del 75% (Crossa, 1990).

Con los datos de rendimiento y el componente principal 1 del análisis AMMI, se elaboró la Figura 4.1, la cual permitió calificar como deseables en producción de FSTOT del primer muestreo a los genotipos 15, 2, 19 y 7, al obtener rendimientos superiores a la

media general (3.25 t ha^{-1}) y mostrar interacciones pequeñas y negativas. El genotipo 3 también superó la media general, pero exhibió interacciones positivas. Cabe señalar que a los 75 dds, el genotipo más rendidor fue GABYAN 95 con 4.71 t ha^{-1} , con interacciones grandes y positivas, este hecho es explicado principalmente por la precocidad que presenta la cebada, siendo una característica favorable que se refleja en menor tiempo de ocupación del terreno (Colín *et al.*, 2007). La avena fue la menos rendidora mostrando un rendimiento de 2.8 t ha^{-1} con interacciones cercanas a cero, siendo superada por los trigos y los testigos comerciales de triticale y cebada, confirmando así la existencia de trigos forrajeros con mayor producción que la avena a los 75 dds. El ambiente 3 provocó interacciones grandes y positivas, y los ambientes 1, 2 y 4 provocaron interacciones negativas. El genotipo 15 se asoció fuertemente al ambiente 2, siendo éste el ambiente más productivo. En el ambiente 3 el genotipo 3 y cebada se asociaron de forma positiva, y en el ambiente que mostró menor rendimiento (A1) se asociaron los genotipos 4, 11, 16 y 20. Las asociaciones de los genotipos con los ambientes mencionados indican que producirán una buena cantidad de forraje seco total en el ambiente con el que se asociaron.

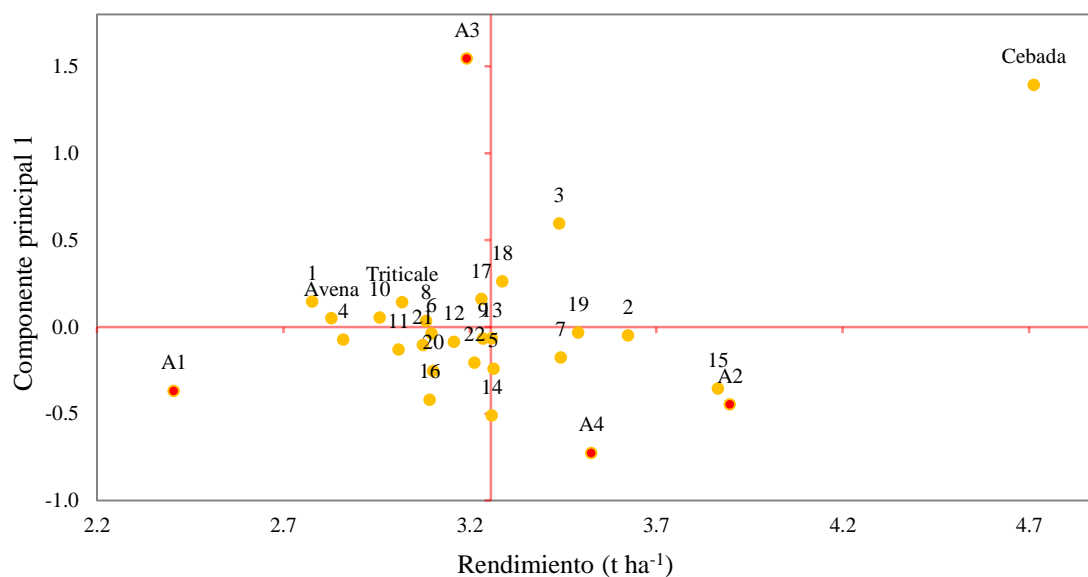


Figura 4.1.- Interacción genotipo ambiente para FSTOT con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 86%.

Al graficar la IGA explicada por el primer CP del AMMI y la producción de tallos, se encontró que GABYAN 95 obtuvo la mayor producción de tallos (2.30 t ha^{-1}), mostrando

interacciones grandes y positivas, seguida por los genotipos 15, 2, 19 y 21 quienes mostraron rendimientos superiores a la media general (1.41 t ha^{-1}) e interacciones pequeñas y positivas excepto los genotipos 15 y 21 con interacciones negativas, calificándolos como deseables. El genotipo 3 también superó la media general, pero exhibió interacciones grandes y positivas (Figura 4.2). La avena se presentó en esta variable con el rendimiento más bajo y cero interacciones. El ambiente 3 provocó interacciones positivas y los ambientes 1, 2 y 4 interacciones negativas, tal como sucedió en la variable FSTOT. Al ambiente 2 se asociaron los genotipos 15, 21, 22 y 14, siendo éste el ambiente más productivo en tallos, y al ambiente 3 se asociaron genotipos como el 3 y GABYAN 95; mientras que al ambiente 1, el menos favorable al cual se asociaron los genotipos 1, 4 y 10.

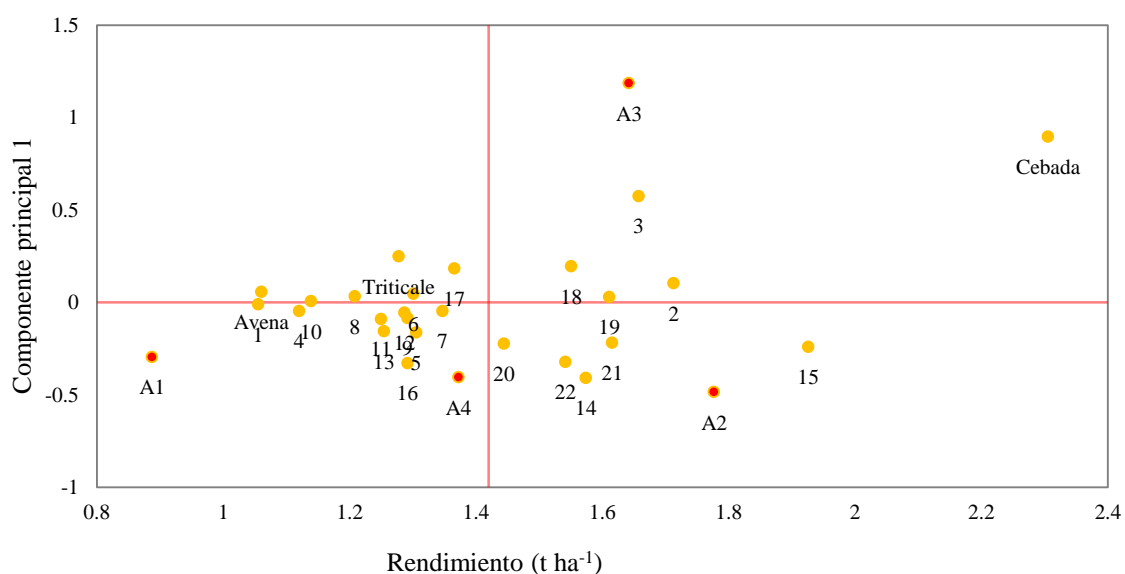


Figura 4.2.- Interacción genotipo ambiente para FST con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 86%.

Se calificaron como deseables para producción de forraje seco de hojas a los genotipos 7, 13, 5 y 9, al tener una producción mayor a la media general (1.82 t ha^{-1}) y mostrar interacciones positivas cercanas a cero, a excepción del genotipo 7 que presentó interacciones grandes (Figura 4.3). Cebada GABYAN 95 obtuvo la mayor producción de hojas, presentando interacciones grandes y negativas, sin embargo, uno de los genotipos

evaluados de trigo (21) con interacciones pequeñas y negativas se colocó como el de menor producción de hojas. La avena presentó un rendimiento favorable y con interacciones cercanas a cero, pero sin superar la media general. Con interacciones positivas se mantuvieron los ambientes 2 y 4, éste último ambiente fue considerado el más adecuado para producción de hojas, al cual se asoció positivamente el genotipo 7, de forma contraria, los ambientes 1 y 3 provocaron interacciones negativas, existiendo entre estos muy poca diferencia en producción de hojas, aun así, se distinguió al ambiente 3 como el menos favorable, donde el genotipo 21 mantuvo asociación. La producción de hojas es de cierta importancia, ya que los genotipos al presentar mayor cantidad de hojas se consideran para producción de heno (Feyissa *et al.*, 2008).

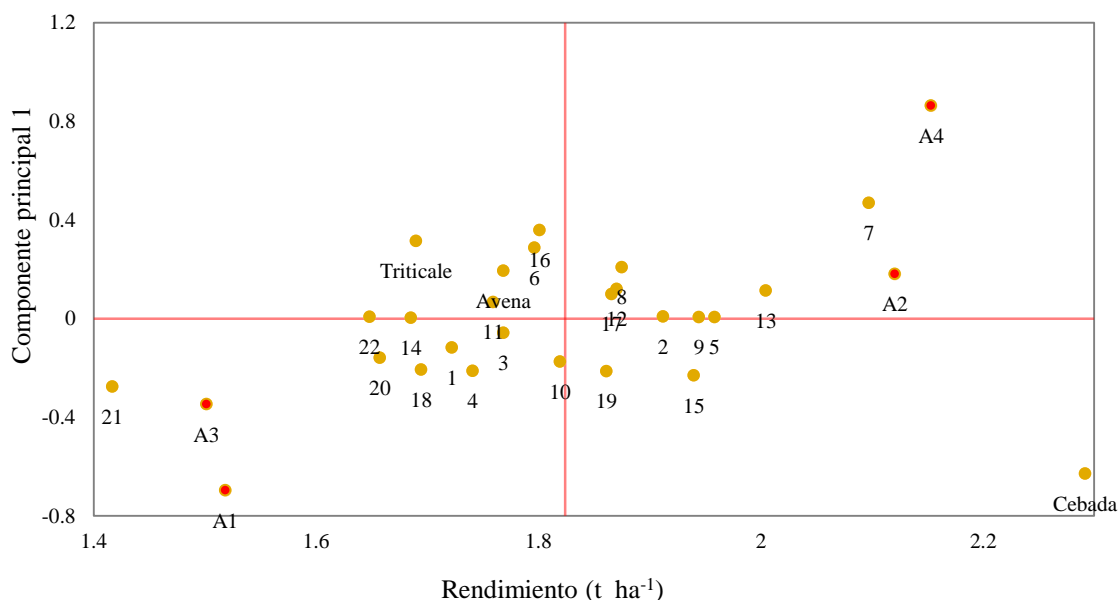


Figura 4.3.- Interacción genotipo ambiente para FSH con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 82%.

Al analizar la IGA explicada por el primer CP del análisis AMMI y la producción de espigas se calificó a los genotipos 21, 18, 22, 19 y 3 como deseables al superar la media general (0.0122 t ha⁻¹) y mostrar interacciones positivas cercanas a cero (Figura 4.4). GABYAN 95 fue el genotipo con la mayor producción de espigas con un rendimiento de 0.115 t ha⁻¹, e interacciones grandes y positivas. Los testigos triticale y avena también se denominaron deseables al superar la media general exhibiendo interacciones positivas; de

acuerdo a la precocidad que presentaban estos testigos, mostraron una etapa fenológica de emergencia de espiga, pero con rendimiento de forraje bajo, coincidiendo con lo reportado por Torres *et al.*, (2019) en avena y triticale. Únicamente se logra distinguir al ambiente 2 que provocó interacciones negativas y el ambiente 3 con interacciones grandes y positivas, siendo éste ambiente el de mayor producción, donde los testigos evaluados mantuvieron asociación positiva. Cabe mencionar que la mayoría de los genotipos aún no presentaban espigas en este primer muestreo.

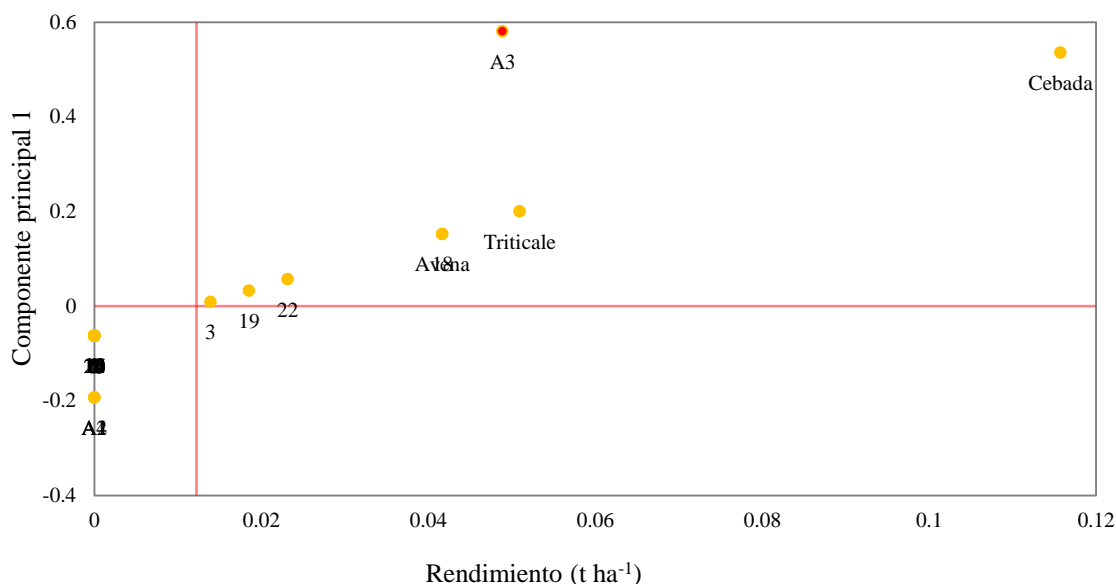


Figura 4.4.- Interacción genotipo ambiente para FSE con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 100%.

Lozano *et al.*, (2009) analizaron la IGA de triticales forrajeros mediante el modelo AMMI, reportaron que, para un primer corte de forraje, los primeros dos CP explicaron un 43% de la interacción. Siendo este resultado menor a los obtenidos en la producción total y fracciones de forraje en trigo de este ensayo.

Con los resultados del componente principal 1 del análisis AMMI y el NDVI se calificaron como deseables a los genotipos de trigo: 7 y 11 al exhibir interacciones positivas y a los genotipos 19, 5 y 9 con interacciones negativas, todos ellos, superando la media general de 0.73 (Figura 4.5). La cebada superó ligeramente a los trigos ya mencionados por una

diferencia de 0.018 de NDVI mostrando interacciones pequeñas y positivas. El ambiente 3 indujo interacciones grandes y positivas, considerándose el ambiente menos favorable, donde no hubo asociación de ningún genotipo; por el contrario, los ambientes 1, 2 y 4 provocaron interacciones negativas, siendo los dos últimos los de mayor índice y presentando valores similares de NDVI. Los genotipos 4, 10, 5 y 9 mantuvieron una asociación con el ambiente 1. Cabe mencionar que no hay estudios realizados para conocer la IGA en el NDVI, destacando que el NDVI se ha utilizado para estimar la producción de forraje, así mismo conocer la estabilidad mediante la IGA, siendo de gran importancia al ser un método no destructivo.

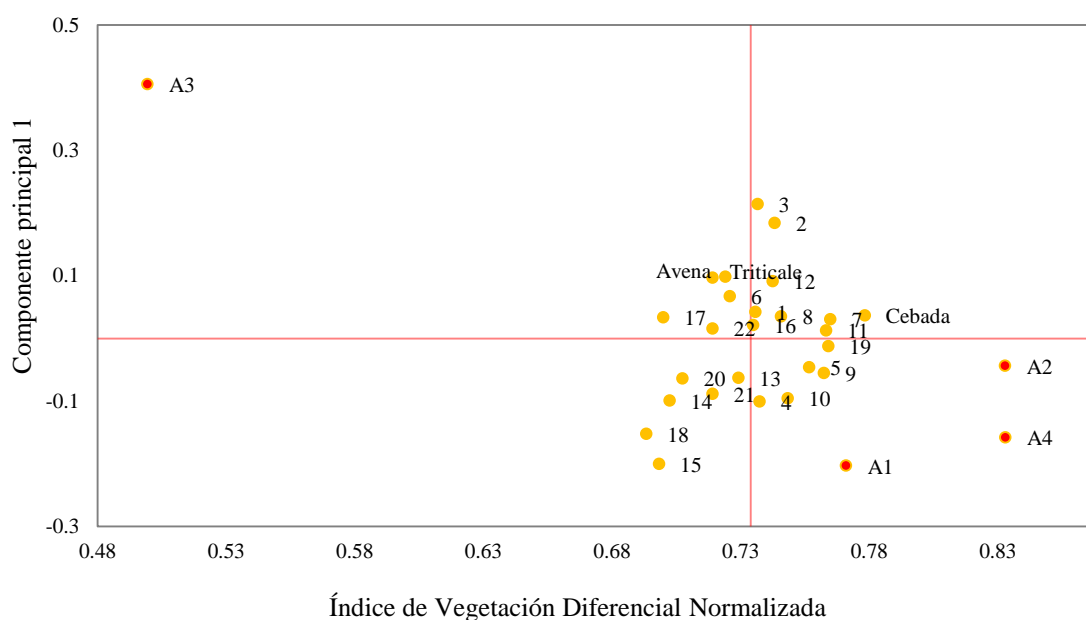


Figura 4.5.- NDVI y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 89%.

Al graficar el contenido de clorofila y la IGA del primer CP del análisis AMMI, se catalogaron como deseables a los genotipos de trigo: 14, 17 y 22 al presentar valores superiores a la media general (38.7) y tener interacciones negativas cercanas a cero (Figura 4.6), los genotipos 15, 21 y 20 también superaron la media general pero no el rendimiento de los de los trigos ya mencionados, y exhibieron interacciones cercanas a cero. Triticale ERONGA 83 se colocó como el genotipo de mayor contenido de clorofila presentando el mayor porcentaje, e interacciones negativas cercanas a cero. De acuerdo a los resultados

obtenidos del contenido de clorofila, se estableció que las especies evaluadas mostraron diferencias en esta variable.

Los ambientes 1, 2 y 4 provocaron interacciones grandes y positivas, siendo el ambiente 4 el menos favorable, donde los genotipos 2, 3, 16, 4 y 7 mostraron asociación significativa y de forma contraria el ambiente 1 fue el más favorable para el registro de contenido de clorofila, al cual se asoció el testigo avena. Uno de los intereses sobresalientes de estudiar el contenido de clorofila en los genotipos y la IGA que presenta, es por la correlación que muestra con la producción de materia seca (Rivera *et al.*, 2005), aunque actualmente en cereales de grano pequeño no existen trabajos asociados para conocer la IGA de esta variable.

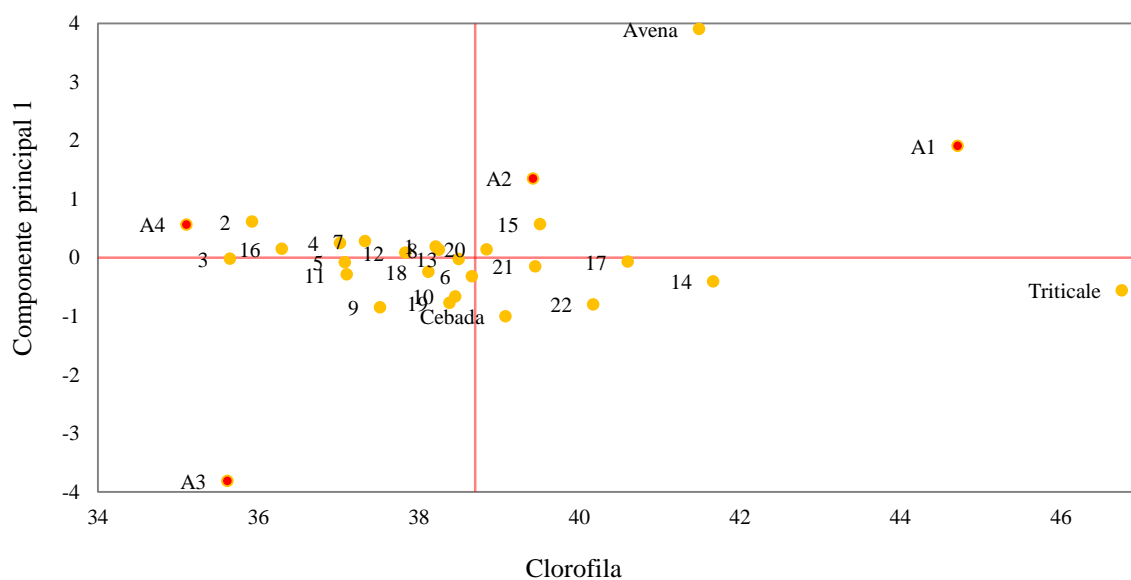


Figura 4.6.- Clorofila y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 95%.

Interacción genotipo ambiente para el segundo muestreo

El resultado del análisis de varianza para el segundo muestreo exhibió alta significancia estadística al ($P \leq 0.01$) para la interacción genotipo ambiente (IGA) únicamente en las variables FSE y CLORO, y significancia al ($P \leq 0.05$) para NDVI, sugiriendo que en las fracciones de tallos y hojas y en el forraje seco total los genotipos tuvieron un comportamiento similar sobre los ambientes evaluados, lo cual es deseable en los sistemas de producción y permite su recomendación en los ambientes de prueba y áreas de características similares; a pesar de estos resultados se realizó el análisis de la IGA con el modelo AMMI, para las variables productivas, clorofila y NDVI. En el Cuadro 4.14 se observa que el primer componente exhibió alta significancia estadística ($P \leq 0.01$) en las variables FSE, NDVI y CLORO, y significancia al ($P \leq 0.05$) en FSH. El segundo componente mostró significancia ($P \leq 0.01$) solamente en FSE.

Cuadro 4.14. Cuadrados medios y significancia del AMMI para el segundo muestreo

F.V	GL	FSTOT	FST	FSE	FSH	NDVI	CLORO
Repeticiones(Rep)	2	1.868	0.547	0.108	0.125	0.011 *	22.934 *
Ambientes (Amb)	3	157.557 **	56.087 **	16.979 **	85.967 **	2.655 **	3061.412 **
Genotipos (Gen)	24	5.339 **	2.478 **	0.576 **	1.290 **	0.007 **	82.062 **
AMBxGEN	72	1.155	0.471	0.165 **	0.266	0.003 *	20.209 **
CP1	26	1.839	0.609	0.282 **	0.428 *	0.005 **	43.814 **
CP2	24	0.855	0.531	0.109 **	0.246	0.003	7.673
Residual	22	0.674	0.242	0.086	0.095	0	5.989

F. V= Fuente de variación, GL= Grados de libertad. FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila.

El análisis AMMI explicó el 82% de la IGA en el forraje seco total (FSTOT), siendo dicha fracción donde se obtuvo la menor explicación; mientras que el resto de variables evaluadas fueron explicadas con más del 83% de la IGA con los dos primeros componentes principales.

Dada la importancia de la producción de forraje para la ganadería regional (Colín *et al.*, 2007), el genotipo 19 fue calificado como deseable en FSTOT para este segundo muestreo al ser el genotipo con el mayor rendimiento, así también los genotipos 15 y 3, con

interacciones negativas cercanas a cero y el genotipo 2 con interacciones positivas, todos ellos superando la media general (6.25 t ha^{-1}). GABYAN 95 fue el genotipo más productivo con 8.31 t ha^{-1} , con interacciones grandes y positivas, tal como ocurrió en el primer muestreo para esta misma variable, afirmando la existencia de genotipos de cebada forrajera que proporcionan adecuada cantidad de materia seca siendo buena opción de forraje (Colín *et al.*, 2009). Por el contrario, la avena obtuvo un rendimiento de 5.16 t ha^{-1} , exhibiendo interacciones pequeñas y positivas, nuevamente siendo el de menor producción, superada por los trigos evaluados, el testigo avena y triticales tuvieron un desarrollo más tardío que la cebada y los trigos, afirmando que estos últimos cultivos son una opción factible para producción de forraje (Domínguez *et al.*, 2016). Los ambientes 3 y 4 provocaron interacciones positivas y los ambientes 1 y 2 interacciones negativas. GABYAN 95 se asoció positivamente al ambiente 4, el cual fue considerado como el más productivo; de forma contraria el ambiente 1 fue el menos favorable para producción de materia seca total, manteniéndose así desde el primer muestreo, donde los genotipos 16, 8, 1, 12 y 10 mantuvieron asociación (Figura 4.7).

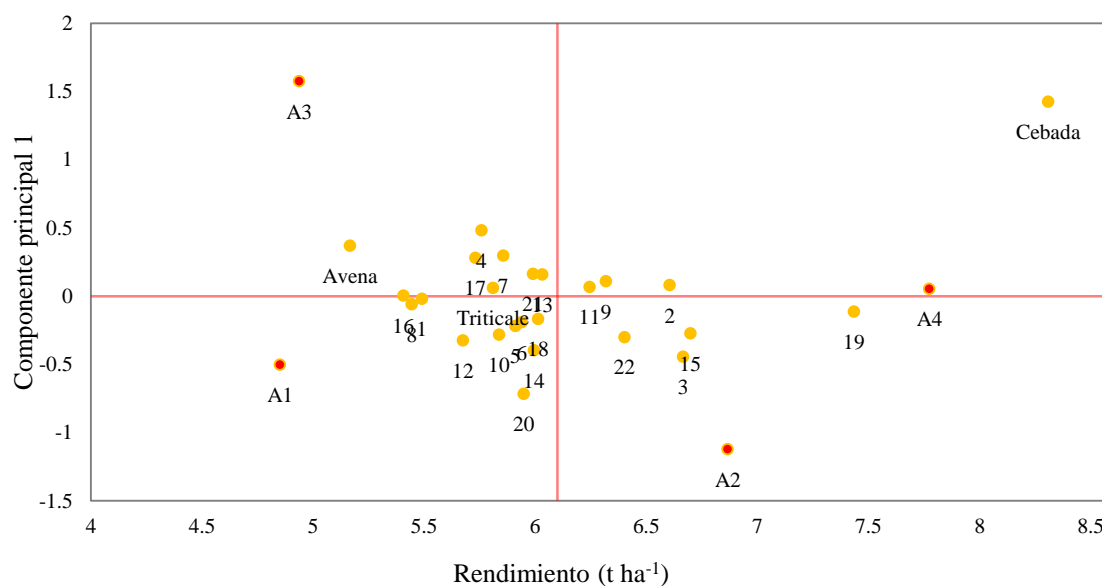


Figura 4.7.- Interacción genotipo ambiente para FSTOT con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 82%.

Para forraje seco de tallos se logró detectar que los genotipos 19, 15 y 2 mostraron interacciones pequeñas y positivas, y los genotipos 3 y 22 interacciones negativas, todos ellos superando la media general (3.25 t ha^{-1}) calificándolos como deseables (Figura 4.8). GABYAN 95 presentó un rendimiento de 4.43 t ha^{-1} e interacciones grandes y positivas siendo nuevamente el genotipo más rendidor, y la avena tuvo un rendimiento de 2.2 t ha^{-1} con interacciones grandes y positivas, colocándose como el menos productivo. Los ambientes 1 y 3 provocaron interacciones positivas, mientras que los ambientes 2 y 4 provocaron interacciones negativas. Los genotipos 22 y 3 se asociaron fuertemente a los ambientes 2 y 4 siendo éste último ambiente el más productivo, cabe mencionar que entre estos ambientes existió poca diferencia de producción, por lo tanto, al ambiente menos favorable (A1) se asoció el testigo avena Cuauhtémoc.

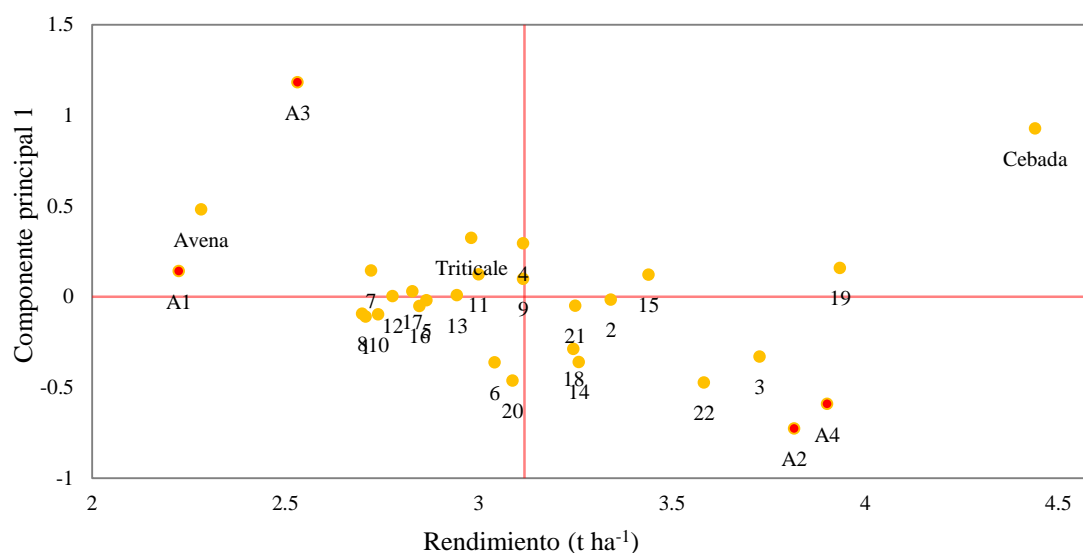


Figura 4.8.- Interacción genotipo ambiente para FST con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 83%.

Para la producción de forraje seco de hojas se realizó la Figura 4.9, donde se identificó a los genotipos 13, 11 y 19 que presentaron interacciones positivas cercanas a cero, y a los genotipos 9, 10 y 7 también con interacciones positivas, pero más grandes, calificándose como deseables al superar la media general (2.49 t ha^{-1}). GABYAN 95 fue el genotipo con la mayor producción de hojas con un rendimiento de 3.16 t ha^{-1} , exhibiendo interacciones negativas. Tal como sucedió a los 75 dds, el genotipo 21 se colocó en último

lugar de acuerdo a la baja producción de hojas que presentó. Los ambientes 2 y 4 provocaron interacciones positivas y de forma contraria los ambientes 1 y 3 provocaron interacciones grandes y negativas. El ambiente más productivo fue el A4 al cual ningún genotipo mantuvo asociación evidente; mientras que al ambiente menos favorable (A3) se asoció el genotipo 21 (Figura 4.9).

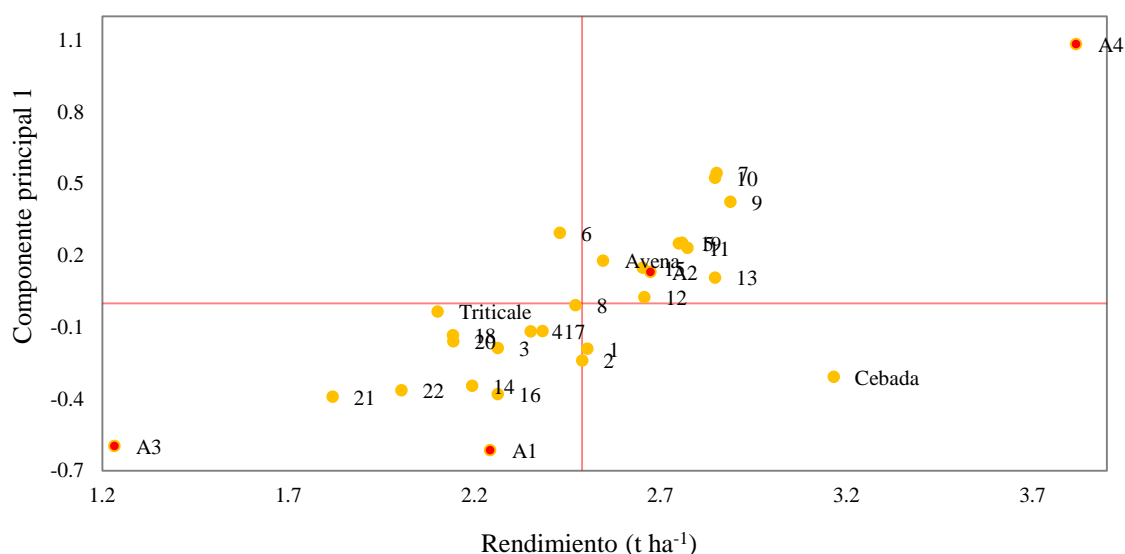


Figura 4.9.- Interacción genotipo ambiente para FSH con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 89%.

Al graficar el rendimiento de espigas y el primer componente principal del AMMI se generó la Figura 4.10, donde el genotipo 21 se postuló como el más productivo y se colocó cerca de la línea que marca cero interacciones. Así también los genotipos 22, 2, 19, 20, triticale, 3, 18, 15, 14, y 17, superaron la media general y exhibieron interacciones negativas cercanas a cero, calificándolos como deseables. Los testigos cebada y triticale mostraron una producción similar, pero con interacciones opuestas. Los ambientes 3 y 4 provocaron interacciones positivas y los ambientes 1 y 2 interacciones negativas, de esta manera se observó la asociación que mantuvieron los genotipos 13, 12, 10 y la avena al ambiente 4, siendo éste ambiente el menos adecuado para producción de espigas, y el ambiente 3 se consideró el más favorable, donde la cebada y el genotipo 21 mantuvieron asociación positiva.

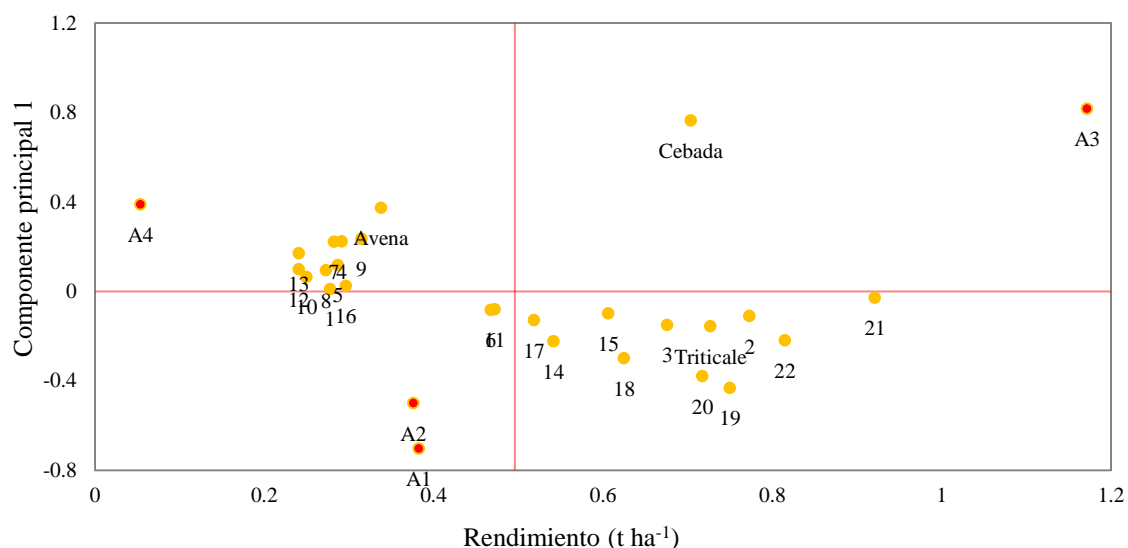


Figura 4.10.- Interacción genotipo ambiente para FSE con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 84%.

Con los datos obtenidos del primer componente principal y los valores del NDVI se calificó como deseable al genotipo 5 al colocarse cerca de la línea que marca cero interacciones y superar la media general, de la misma manera los genotipos 9, 12, 1 y 8 mostraron interacciones pequeñas y negativas; y los genotipos 19, 4, 10, 13 y 15 exhibieron interacciones pequeñas y positivas, todos ellos superando la media general (0.696). Los testigos cebada y avena presentaron valores cercanos, pero con interacciones grandes y contrarias. El ambiente 1 provocó interacciones positivas donde GABYAN 95 mantuvo asociación positiva; mientras que el resto de ambientes provocaron interacciones negativas; considerando al ambiente 3 como el de menor NDVI y, por lo tanto, no mostró asociación con ningún genotipo; los ambientes 2 y 4 presentaron valores similares de NDVI, donde los genotipos 9, 12, 5, 8, 1, 16 y la avena se asociaron (Figura 4.11).

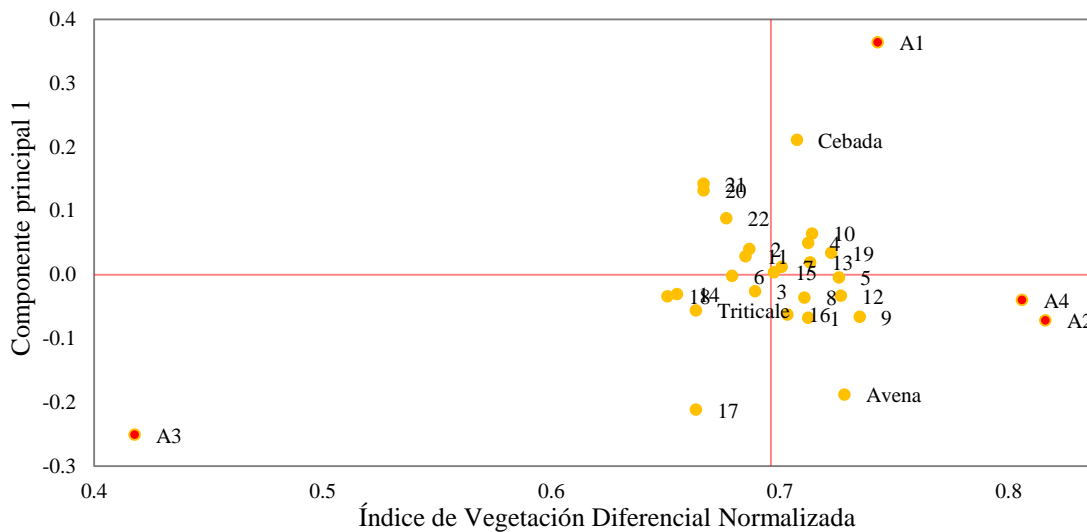


Figura 4.11.- NDVI y primer componente principal. Genotipos (1-25). A=Ambientes. IGA explicada 95%.

Al graficar el contenido de clorofila y la IGA del primer CP, se identificó como deseables a los genotipos 14, 21 y 19, quienes superaron la media general (40.9) y exhibieron interacciones pequeñas y positivas (Figura 4.12). Triticale Eronga 83 exhibió el mayor contenido de clorofila y se colocó en la línea que marca cero interacciones, asociándose al ambiente 1, siendo este ambiente el más favorable, este hecho sucedió en el primer muestreo, a diferencia de que en este muestreo el ambiente 1 mostró interacciones negativas. El ambiente 3 provocó interacciones positivas, considerándose el ambiente con menor contenido de clorofila, y el resto de los ambientes provocaron interacciones negativas.

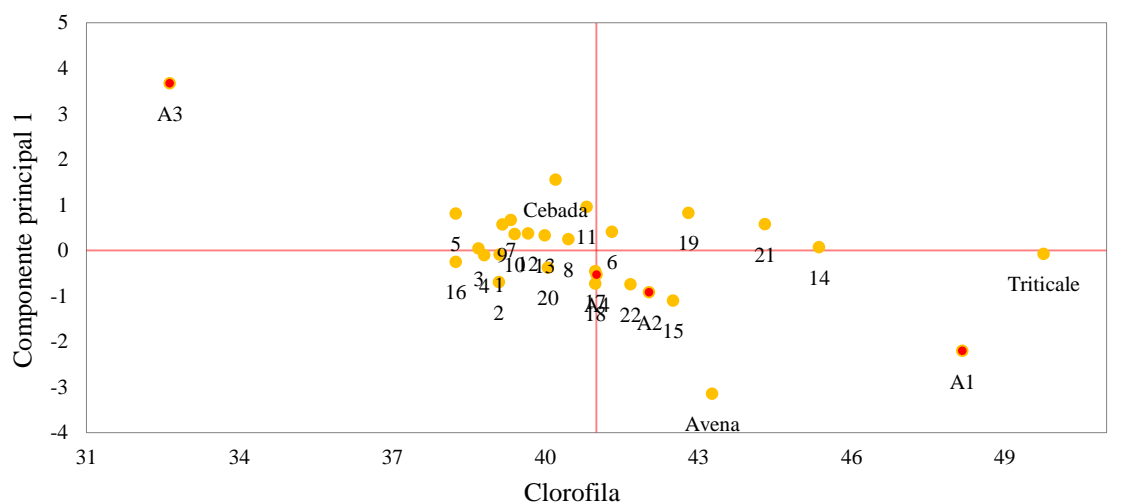


Figura 4.12.- Clorofila y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 90%.

Interacción genotipo ambiente para el tercer muestreo

El análisis de varianza para el último muestreo exhibió diferencias altamente significativas en la interacción genotipo ambiente (IGA) para las variables FSE, NDVI y CLORO, y significancia al ($P \leq 0.05$) para FSH, mientras que para FSTOT y FST no hubo significancia alguna. Tal como sucedió en el segundo muestreo, FSE continuó manifestando IGA y en este muestreo FSH lo hizo de manera significativa; aunque no haya existido diferencia estadística en algunas de las variables productivas, se realizó el análisis AMMI, en el cual el primer componente mostró significancia estadística al ($P \leq 0.01$) para FSE, FSH, NDVI y CLORO, y significancia al ($P \leq 0.05$) para FST; y el segundo componente fue significativo al ($P \leq 0.01$) únicamente para NDVI, mientras que para el resto de variables no hubo significancia (Cuadro 4.15).

Cuadro 4.15. Cuadrados medios y significancia del AMMI para el tercer muestreo

F.V	GL	FSTOT	FST	FSE	FSH	NDVI	CLORO
Repeticiones(Rep)	2	0.825	0.366	0.221	0.571	0.003	16.130
Ambientes (Amb)	3	445.737 **	224.244 **	26.429 **	120.419 **	2.509 **	4350.847 **
Genotipos (Gen)	24	8.889 **	3.185 **	2.973 **	1.968 **	0.013 **	133.401 **
AMBxGEN	72	2.160	0.989	0.403 **	0.550 *	0.006 **	27.528 **
CP1	26	3.365	1.438 *	0.681 **	0.877 **	0.008 **	61.899 **
CP2	24	1.451	0.737	0.321	0.417	0.007 **	11.573
Residual	22	1.509	0.735	0.165	0.309	0.002	4.313

F. V= Fuente de variación, GL= Grados de libertad. FSTOT= Forraje seco total, FST= Forraje seco de tallos, FSE= Forraje seco de espigas, FSH= Forraje seco de hojas, NDVI= Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, CLORO= Clorofila

Para este tercer muestreo el análisis AMMI explicó al menos el 77% de la interacción genotipo ambiente para la variable forraje seco de tallos (FST), siendo este porcentaje el menor valor registrado; mientras que para el resto de las variables se explicaron con más del 78% de su IGA, alcanzando un 95% para el contenido de clorofila, utilizando los primeros dos componentes principales.

Con base a los resultados obtenidos y el primer componente principal del análisis AMMI, se elaboró la Figura 4.13, en la cual se clasificaron como deseables en FSTOT a los genotipos 15, 20 y 9, al postularse como los trigos más productivos superando la media general (9.54 t ha^{-1}) y mostrando interacciones pequeñas y negativas, también el genotipo

2 y 19 con interacciones positivas; destacando así, que los genotipos de trigo: 15, 2 y 19 han demostrado ser superiores en forraje seco total a través de los tres muestreos realizados, superando drásticamente a los testigos avena Cuauhtémoc y triticale Eronga 83, de la misma manera GABYAN 95 fue el genotipo más productivo al presentar un rendimiento de 11.5 t ha^{-1} , con interacciones grandes y positivas, manteniéndose en primer lugar a través de todos los muestreos, de acuerdo a la precocidad que esta posee para producción de materia seca, se ha considerado buena opción para producción forrajera (Colín *et al.*, 2007, 2009), y la avena con interacciones negativas cercanas a cero, se colocó como el menos productivo al tener un rendimiento de 7.6 t ha^{-1} , siendo inferior al de la media general, logrando ser superada nuevamente por los trigos evaluados, lo cual permite una selección de genotipos que en base a su rendimiento son opciones para producir forraje a los 105 dds. Los ambientes 1 y 3 provocaron interacciones positivas y los ambientes 2 y 4 de forma contraria provocaron interacciones negativas. Los genotipos 20, 9, 15 y 3 se asociaron al ambiente 2, y el testigo avena se asoció al A3, que en este caso fue el ambiente menos productivo, y el ambiente 4 siendo el más favorable para producción de forraje seco total no se le asoció ningún genotipo.

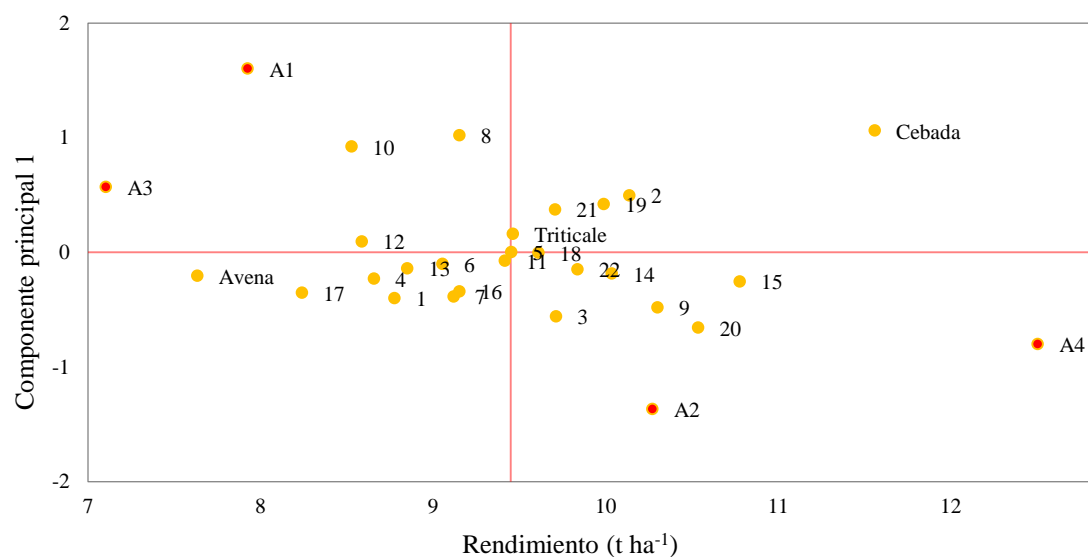


Figura 4.13.- Interacción genotipo ambiente para FSTOT con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 78%.

Respecto a la aportación de las fracciones al forraje seco total, los tallos aportaron el 50.58%, siendo estos los de mayor aportación, seguida de las hojas con 28.36% y por

último de las espigas con 21.06%, tal como lo reportan Zamora *et al.*, (2016), al obtener en su estudio los siguientes promedios: tallos (50.98%), hojas (36.11%) y espigas (12.91%).

Para la producción de forraje seco de tallos (FST) se encontró que los genotipos de trigo: 15, 20 y 14, se colocaron como los trigos más productivos y se acercaron a la línea que marca cero interacciones, seguido de los genotipos 9, 22 y 18 con interacciones positivas y con interacciones negativas los trigos 19, 21 y 2, siendo denominados como deseables al superar la media general (4.7 t ha⁻¹). GABYAN 95 mostró un rendimiento ligeramente superior al de los trigos ya mencionados con la única diferencia de presentar interacciones grandes y negativas (Figura 4.14). De acuerdo a estos resultados obtenidos, se coincide con Feyissa *et al.*, (2008), al reportar que los tallos representan más del 50% de la producción de forraje seco total en todos los genotipos, quienes recomiendan que genotipos con mayor cantidad de tallos pueden ser usados para ensilaje.

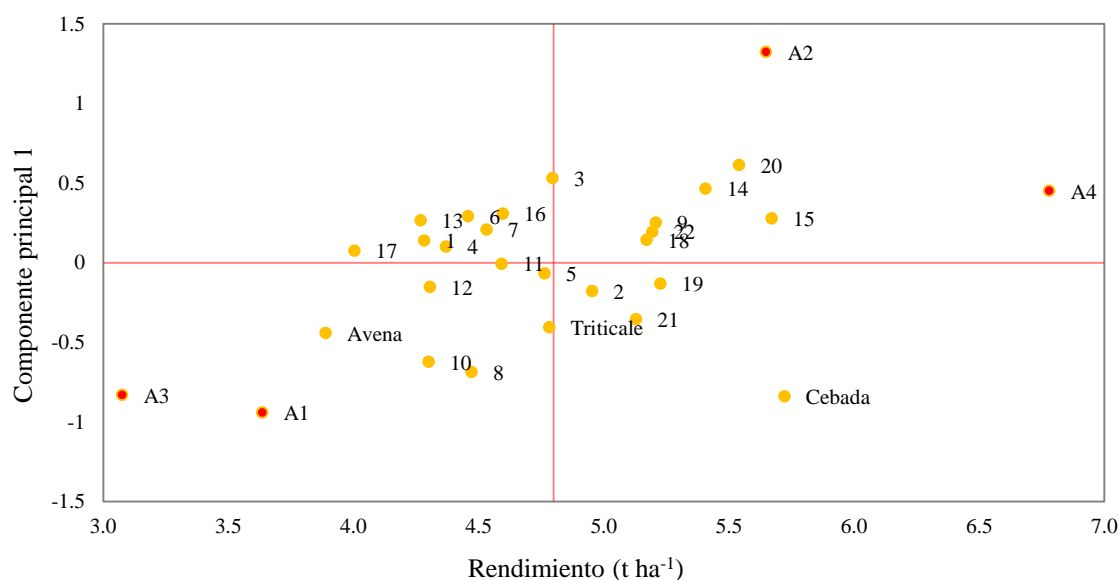


Figura 4.14.- Interacción genotipo ambiente para FST con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 77%.

La avena fue el genotipo de menor producción de tallos, exhibiendo interacciones pequeñas y negativas, asociándose al ambiente 1 junto con los genotipos 10 y 8, y al ambiente 2 se asociaron los trigos: 15, 20 y 14. Estos testigos evaluados fueron aumentando casi en un 100% su producción de tallos a través de los muestreos realizados,

presentando los siguientes rendimientos para cebada: 2.30, 4.43 y 5.7 t ha⁻¹ y para la avena: 1.1, 2.2 y 3.8 t ha⁻¹, para el primero, segundo y tercer muestreo, respectivamente. Por otro lado, los ambientes 2 y 4 provocaron interacciones positivas y los ambientes 1 y 3 provocaron interacciones negativas, reportando al A3 como el menos productivo (Figura 4.14).

Al graficar los genotipos de acuerdo al rendimiento de hojas y la interacción detectada (Figura 4.15) se logró calificar a los genotipos 9, 7, 11, 5, 15, 10 y 12 como deseables, ya que mostraron rendimientos superiores al de la media general e interacciones pequeñas y positivas. Los genotipos 13 y 8 también superaron la media general, pero con interacciones negativas cercanas a cero. La cebada obtuvo la mayor producción de hojas, mostrando interacciones grandes y negativas, tal como sucedió en los muestreos anteriores, donde se ha mostrado como el genotipo más productivo para esta variable, y de forma contraria, el genotipo 21 se mantuvo como el menos rendidor a través de dichos muestreos. De acuerdo a lo reportado por Feyissa *et al.*, (2008) las variedades que poseen mayor proporción de hojas en una dada etapa fenológica de desarrollo pudiesen ser recomendadas para heno, tal como los genotipos antes mencionados de acuerdo a su rendimiento de hojas. El ambiente 4 provocó interacciones positivas, al cual se asociaron positivamente los genotipos 9, 7 y 11; los ambientes 1, 2 y 3 provocaron interacciones negativas, siendo el ambiente 3 el menos favorable, donde el genotipo 21 mostró asociación.

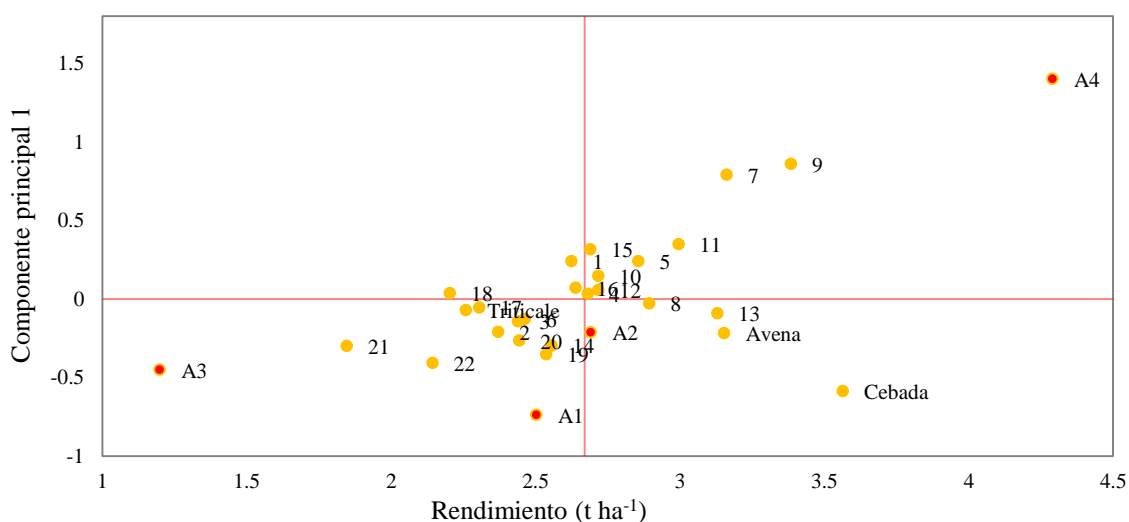


Figura 4.15.- Interacción genotipo ambiente para FSH con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 82%.

Para la variable FSE se realizó la Figura 4.16, donde se calificó como deseables a los trigos 20, 22, 15 y 3, al presentar interacciones cercanas a cero, y superar la media general. El genotipo 2 mostró un rendimiento mayor a los trigos antes mencionados, pero con interacciones grandes y positivas, tal caso fue para el genotipo 21 quien mostró interacciones grandes y negativas. Los genotipos 6, 19, 14 y 18 presentaron rendimientos favorables con interacciones cercanas a cero. Cebada y triticale presentaron una producción cercana con interacciones negativas, asociándose al ambiente 2 junto con los trigos 14 y 18. La avena a pesar de mostrar rendimiento favorable en los primeros dos muestreos, logrando mantenerse con un rendimiento intermedio, a los 105 dds se colocó en último lugar, siendo el genotipo menos rendidor para producción de espigas, exhibiendo interacciones negativas, y asociándose al A4; ambiente reportado como el menos favorable para producción de espigas. Así también, mencionando que el ambiente 3, siendo el más productivo, provocó interacciones grandes y positivas, donde se asoció el genotipo 2, y los ambientes 1, 2 y 4 provocaron interacciones negativas.

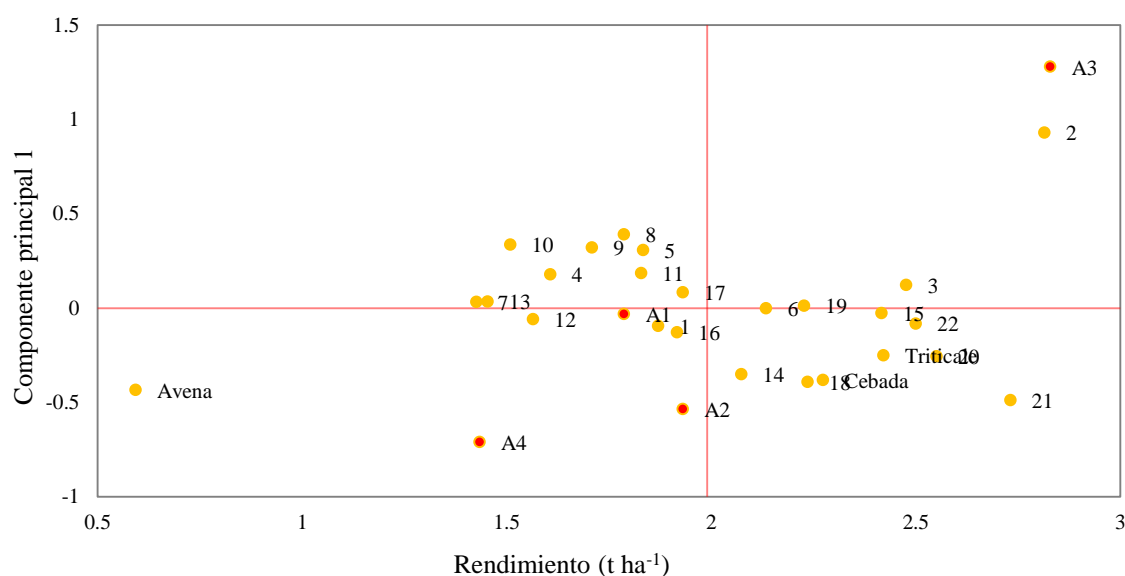


Figura 4.16.- Interacción genotipo ambiente para FSE con base en rendimiento y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 87%.

Con los valores del NDVI y el primer componente principal fue posible calificar al genotipo 6 como deseable, al presentar el mayor NDVI y colocarse cerca de la línea que marca cero interacciones (Figura 4.17). Así también, el genotipo 19 y los testigos avena y cebada mostraron interacciones grandes y negativas, asociándose al ambiente 1; los trigos 4, 13, 10, 16 y 1 exhibieron interacciones pequeñas y positivas junto con valores superiores a la media general, siendo todos estos deseables. Los ambientes 3 y 4 indujeron interacciones grandes y positivas, mientras que los ambientes 1 y 2 provocaron interacciones grandes y negativas. Siendo el ambiente 4 el más favorable al mostrar mayor NDVI, al cual se asociaron de forma positiva los genotipos 7, 5, 9 y 8. De forma contraria, el A3 al mantenerse en último lugar fue el menos favorable para NDVI en los tres muestreos realizados.

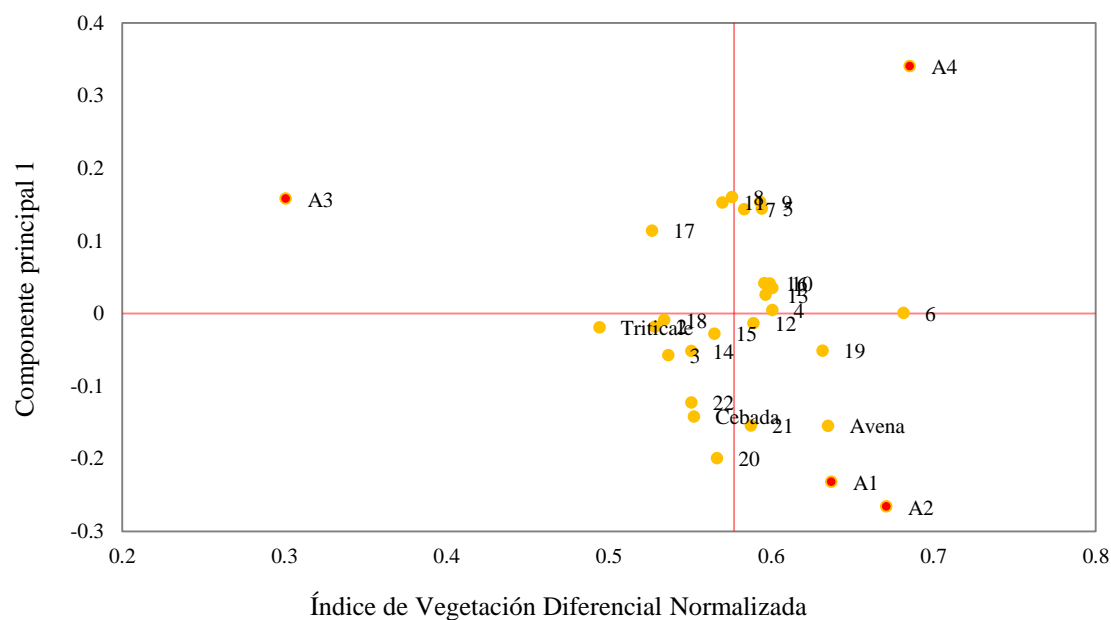


Figura 4.17.- NDVI y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 89%.

Al graficar el contenido de clorofila y la IGA del primer componente principal, se encontró que los trigos 14, 21 y 15, superaron la media general (40.6) y mostraron interacciones pequeñas y positivas. Los genotipos 22 y 18 también superaron la media, pero con interacciones negativas. El genotipo 20 se colocó en la línea de cero interacciones

superando ligeramente la media general. Triticale ERONGA 83 mostró el porcentaje de clorofila más alto tal como ocurrió en los muestreos anteriores, y exhibiendo interacciones positivas cercanas a cero; seguido de la avena con interacciones grandes y negativas. El ambiente 3 provocó interacciones grandes y positivas y los ambientes 1, 2 y 4 provocaron interacciones negativas. Describiendo así, al A3 como el menos favorable, donde no hubo asociación de ningún genotipo, y al ambiente 1 como el más adecuado, al presentar genotipos con mayor clorofila al que se asoció la avena.

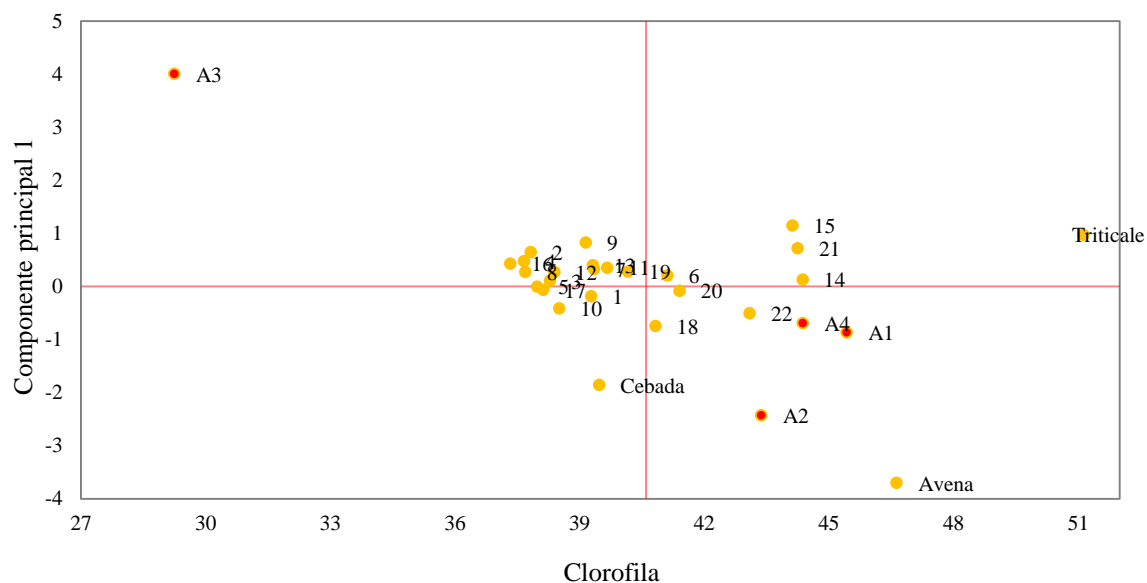


Figura 4.18. -Clorofila y primer componente principal. Genotipos (1-25). A= Ambientes. IGA explicada 95%.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye que:

Las hojas presentaron la mayor IGA, sugiriendo la ocurrencia de mecanismos de compensación en la planta, ya que en los últimos dos muestreos no se detectaron diferencias en la producción total.

GABYAN 95 presentó el mayor rendimiento de forraje con grandes interacciones; sin embargo, la mayoría de los trigos, tales como: 15 (AN-229-09), 2 (AN-268-99), 19 (AN-241-13), 3 (AN-263-99), 13 (AN-222-09), 9 (AN-217-09), 11 (AN-220-09), 21 (AN-246-13), 18 (AN-7-09) y 22 (AN-310-03), tuvieron una producción cercana a ella, pero superiores y deseables en otras características, logrando superar a la avena en todos los muestreos.

El NDVI mostró IGA conforme la planta se acercaba a floración y llenado de grano, pero existen genotipos deseables de trigo para dicha variable. El contenido de clorofila fue afectado fuertemente por el ambiente y presentó IGA significativa en todos los muestreos, identificando como deseables al triticale seguido de los trigos 14 (AN-228-09), 17 (AN-326-09), 22 (AN-310-03), 15 (AN-229-09), 21 (AN-246-13), 20 (AN-409-13) y 19 (AN-241-13).

La ausencia de IGA en el FSTOT y FST en los últimos dos muestreos, es una característica deseable en los genotipos evaluados, al sugerir estabilidad de producción.

Bibliografía citada

- Abbate, Pablo. E., Cardós. J. y C. Leda E. 2017. Manual del cultivo de trigo. Cap. 1: El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas. INTA. Buenos Aires, Argentina. 20 p.
- Annicchiario P. 1997. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica*. 94(1): 53-62.
- Aragón P. de L. 1995. Factibilidades agrícolas y forestales en la República Mexicana. Ed. Trillas. México. 177 p.
- Araya M. M. y Boschini F. C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 16(1) :37-43.
- Argentel L. G. J., E. Yépez V. M., M. Rivera G. J. 2017. Eficiencia de uso de agua en trigo (*Triticum durum* L.) en el Valle del Yaqui en un escenario de cambio climático. *Revista Latino americana de Recursos Naturales*. 13:58-65.
- Ates, S., G. Keles, U. Demirci, S. Dogan, H. Ben Salem. 2017. Biomass yield and feeding value of rye, triticale, and wheat straw produced under a dual-purpose management system. *J. Anim. Sci*. 95(11):4893-4903.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper Núm. 29 Rev. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 186 p.
- Bainotti C., Gómez D., Masiero B., Salines J., Fraschina J., Bertram N., y Navarro C. 2004. Evaluación de cultivares de trigo como doble propósito. Campaña 2004-2005. Actualización 2005. Informe para Extensión N° 92. INTA EEA Marcos Juárez.
- Baret, F., G. Guyot, and D. Major. 1989. Crop biomass evaluation using radiometric measurements. *Photogrammetria* 43:241–256.
- Becker H. C. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*. 30: 835-849.
- Boca R. T. y G. Rodríguez R. 2012. Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos. Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar, Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.
- Calderini, D. F., M. P. Reynolds y G. A. Slafer. 1999. Genetic gains in wheat yield and main physiological changes associated with them during the twentieth Century. In: *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. (E. H. Satorre y G. A. Slafer, Eds). New York, Food Products Press. 351-377.

- Carballo, C. A. y Márquez, S. P. 1970. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y I Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agro-Ciencias* 5(1): 129-146.
- Cash, S. D., Staber, L. M. M., Wichman, D. M. and Hensleigh, P. F. 2004. Forage yield, quality and nitrate concentration of barley grown under irrigation. Montana State University. 4 p.
- Cherney, J. H., and G. C. Marten. 1982. Small grain crop forage potential: I. biological and chemical determinants of quality and yield. *Crop. Sci.* 22:227-231.
- Colín R., M., V. M. Zamora V., A. J. Lozano D. R., G. Martínez Z. y M. A. Torres T. 2007. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. *Técnica Pecuaria en México.* 45 (3): 249-262.
- Colín, R. M., V. M. Zamora, V., M. A. Torres, T. y M. A. Jaramillo, S. 2009. Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en el norte de México. *Téc. Pec. Méx.* 47(1):27-40.
- Collar C, Aksland G (2001) Harvest effects on yield and quality of winter forage. Proc. 31st California Alfalfa and Forage Symposium., Ca. U.C. Cooperative Extension. University of California, Davis. Modesto: 133-142.
- Córdova, S. H. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de centro América, Panamá y México.
- Crossa J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Adv. Agron.* 44: 55-85.
- Crossa J., H. Gauch y R. Zobel. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493-500.
- Crossa J., y Cornelius. P. L. 1997. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variance. *Crop Science* 37: 406-415.
- Dash, J. y Curran, P. 2007. Relationship between the MERIS vegetation indices and crop yield for the state of South Dakota, USA. *Proc. Envisat Symposium.* 23-27 p.
- Domínguez, M., López, C. L.E., Benítez, R. C. I. y Mejía, C. J. A. 2016. Desarrollo radical y rendimiento en diferentes variedades de trigo, cebada y triticale bajo condiciones limitantes de humedad del suelo. *Terra Latinoam.* 34(4):393-407.
- Duan T, Chapman S. C., Guo Y. y Zheng B. 2017. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research.* 210:71–80.
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.

- FAO. 2005. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en línea: www.fao.org/giews/. Consulta realizada enero 2020.
- FAOSTAT 2017. Crop statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Disponible en línea: www.fao.org/faostat. [1 de agosto 2017].
- Feyissa F, A. Tolera and S. Melaku. 2008. Proportions of morphological fractions of oats (*Avena sativa* L.) as affected by variety and growth stage. *Livestock Res. Rural Development*. Vol. 20, No. 6.
- Finlay, K. W. and Wilkinson, A. A. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding program. *Australian J. Agric. Res.* 14:742-754.
- Gallardo M. 2010. Cereales de invierno: valor de los ensilajes de avena y cebada. Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/163Cereales_invierno.pdf [Verificación: enero 2020].
- Gauch, H. G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam. The Netherlands. 278 p.
- Gauch, H. and R. Zobel. 1996. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 79:753-761.
- González, A. 2009. Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología*. IMIDRA. Madrid. 4: 111-116.
- Hart, H. R., Carlson, G. E., and McCloud, D. E. 1971. Cumulative effects of cutting management of forage yields and tiller densities of tall fescue and orchard grass. *Agron. J.* 63 (4):895-898.
- Houspanossian J., Schirmbeck, J., Rivas R. y Vázquez P. 2007. Relación entre la temperatura radiativa de la vegetación y el contenido de agua en el suelo. Buenos Aires, Argentina. 978-987.
- Hortelano S. R. R., H. E. Villaseñor M., E. Martínez C., M. F. Rodríguez G., E. Espitia R. y L. A. Mariscal A. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los valles Altos de la Mesa Central. Estado de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(5): 713-725.
- Hughes, H. D., Health, M. E. y Metcalfe, D. S. 1974. Forrajes, Ed. CECSA, México. 343-373.
- INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2007. El ABC del cambio climático. Impactos y Acciones en México. http://participacionsocial.sre.gob.mx/incidencia_socialambito_regional_multilateral/agenda_internacional/agendaytemas_internacionales/cambio_climatico/presentaciones/cc_julia_1.pdf México D. F. (Acceso 126 de febrero 2020).
- Información del Sistema Agropecuario (INFOAGRO). 2009. El cultivo de la avena. Información agronómica. Madrid, España.

www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm. Consultado el 25 de febrero del 2020.

- Jackson, P. A. 2001. Directions for Physiological Research for Breeding: Issues from a Breeding Perspective. Reynolds, M. P; J. I. Ortiz-Monasterio y A. McNab (eds.) Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT. México, D.F. 11-16 p.
- Juskiw, P. E., J. H. Helm., and D. F. Salmon. 2000. Forage yield and quality for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop Sci.* 40:138-147.
- Kempton R. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Sciences.* 103: 123-135.
- Kumar R. S. L. 1973. Light ray tracing through a leaf cross section. *Applied Optics.* 12:2950–2054.
- Kuttel, W. D., Coll L. y Díaz M. G. 2017. Producción invernal de reservas forrajeras: cebada, trigo avena y colza. INTA EEA. Paraná. Argentina. 81:57-64.
- Lin, C. S., Binns, M. R. and Lefkovitch, L. P. 1986. Stability analysis: Where do we stand?. *Crop Sci.* 26:894-900.
- López C. C., y R. Richards A. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments. II. Phasic development and growth. *Field Crops Res.* 37: 63-72.
- Lozano, Del R. A. J., V. M. Zamora V., L. Ibarra J., S. A. Rodríguez H., E. de la Cruz L. y M. de la Rosa I. 2009. Análisis de la interacción genotipo ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de triticales forrajeros (*X Triticosecale* Wittm.). *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo.* 25:81-92.
- Ma, B., Dwyer L., Costa E. y Cober M. 2001. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. *Agronomy Journal.* 93:1227-1234.
- Ma, B., Yan, W., Dwyer, L., Fregeau R. J., Voldeng H. D., Dion Y., Nass H. 2004. Análisis gráfico del genotipo, el medio ambiente, el fertilizante nitrogenado y sus interacciones en el rendimiento del trigo de primavera. *Agronomy Journal.* (96): 169-180.
- Magari, R. and M. Kang. 1993. Genotype selection via a new yield stability statistic in maize yield trials. *Euphytica* 70:105-111.
- Marín C. 1995. Estimación y comparación de parámetros de estabilidad del rendimiento en cultivares de maíz (*Zea mays* L.) con fines de selección y recomendación en función de los ensayos regionales del FONAIAP, año 1992. Trabajo de grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 126 p.
- Martín, A. 1990. Cultivo del trigo. En: producción de granos y forrajes. Editorial Limusa. D. F., México. 207-240 pp.

- Marza, F., R. Butrón., F. Quispe., G. Gutiérrez. y L. Vaca. 2016. Rendimiento y estabilidad fenotípica de diez variedades internacionales de trigo harinero en zonas trigueras de Bolivia, 2015-2016. *Revista de Investigación Agropecuaria y Forestal Boliviana. RIAFB.* 22-34.
- Millar N, U. A., K. Kahmark S. I., G. Robertson. y I. OrtizM. 2018. Nitrous oxide (N₂O) flux responds exponentially to nitrogen fertilizer in irrigated wheat in the Yaqui Valley, México. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 261:125–32.
- Morant, A., H. Merchán y E. Lutz. 2010. Trigo de doble propósito: análisis de correlación de componentes de rendimiento de forraje. *Cien. Inv. Agr.* 37 (1): 55-61.
- Murillo, A., B., A. Escobar H., H. Fraga M. y R. Pargas L. 2001. Rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en Baja California Sur, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 24(2): 124-153.
- 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.
- Okoye, M. N., C. O. Okwuagwu, and M. I. Uguru. 2008. Genotype and genotype by environment (GGE) biplot analysis of fresh fruit bunch yield and yield components of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *J. Appl. Biosci.* 8(1): 288-303.
- Paruelo, J. M. 2008. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Asociación Española de Ecología Terrestre. Ecosistemas* 17(3):4–22.
- Peña B. R. J., P. Pérez H., E. Villaseñor M., M. M. Gómez V. y M. A. Mendoza L. 2008. Calidad de la cosecha de trigo en México. Ciclo primavera-verano 2006. *Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO.* México, D.F. 28p.
- Peralta N., Abbate P. E. y Marino A. 2011. Efecto del régimen de defoliación sobre la producción de grano en trigo doble propósito. *Agriscientia.* 28: 1-11.
- Ramírez V., J., R. Hortelano S. R., H. E. Villaseñor M., E. López H., E. Martínez C. y E. Espitia R. 2016. Evaluación de variedades y líneas uniformes de trigo harinero de temporal en Valles Altos. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 7(3): 655-667.
- Reynolds M. P., Delgado M. I., Gutiérrez R. M. y Larque S. A. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I. Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research* 66: 37-50.
- Reta S., D. G., J. S. Serrato C., R. Figueroa V., J. A. Cueto W., S. Berumen P., J. Santamaría C. 2008. Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. *Libro Técnico núm. 3. INIFAP-CIRNOC-CELALA.* 268 p.
- Rivera, C., A. Zapata, G. Pinilla, J. Donato, B. Chaparro, y P. Jiménez. 2005. Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta Biol. Colomb.* 10(2):95-103.

- Rodríguez, P. J. E., Sahagún, C. J., Villaseñor, M. H. E., Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2):143-151.
- Rodríguez G., R., J. F. Ponce M., E.O. Rueda Puente., L. Avendaño R., J. J. Paz H., J. Santillano C. y M. Cruz V. 2011. Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento de trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Mérida, Yucatán México. 14: 543-558.
- Royo C., Aparicio N., Blanco R. y Villegas D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *European Journal Of Agronomy*. 20: 419-430.
- SAGARPA-SIAP, 2018. Anuario estadístico de la producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en línea <https://www.gob.mx/siap> Consulta realizada el 19 de febrero de 2020.
- SAS, 1989. Institute Inc. SAS/STAT User's guide. Version 6. Fourth edition. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Slafer, G. A.; E. H. Satorre y F. H. Andrade. 1994. Increase in Grain Yield in Bread Wheat from Breeding and Associated Physiological Changes. In: Genetic improvement of field crops. (Ed) Slafer, G. A. Marcel Dekker, Nueva York, pp. 1-67.
- Slafer, A. G. y E. Satorre H. 1999. Wheat ecology and physiology of yield determination. Food Products Press, Nueva York. 3-12.
- Tai, G. C. C. 1971. Genotypic stability analysis and its application on potato regional trials. *Crop Sci.* 11:184-190.
- Tenga A.Z., B. Marie A. y P. Ormrod D. 1989. Leaf greenness meter to assess ozone injury to tomato leaves. *HortScience* 24: 514.
- Torres T. M. A., V. M. Zamora V., M. Colín R., R. Foroughbakhch P. y M. Ngangyo H. 2019. Caracterización y agrupamiento de cebadas imberbes mediante sensores infrarrojos y rendimiento de forraje. *Rev. Mex. Cienc. Agric.*, 10(5):1125-1137.
- Tomaso J. C. 2009. Cereales forrajeros de invierno. Cuadernillo clásico de forrajeras. *Aggromercado*. 149: 4.
- Triola M. F. 2009. Estadística. Trad. LE Pineda. Ed. R. Fuerte. 10ma ed. México. PEARSON-Educación. 904 p.
- Turner N. C. 2017. Turgor maintenance by osmotic adjustment, an adaptive mechanism for coping with plant water deficits. *Plant, Cell & Environment*. 40:1-3.
- Tsuji G., G. Uehara and S. Balas. 1994. DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 224 p.

- Van E. F. 1995. Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: I. An inventory of models. *Euphytica*. 84: 1-7.
- Vargas M. J. and J. Crossa. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. CIMMYT. Unidad de Biometría y Estadística. México. D. F. 42 p.
- Velasco M. J. E., D. J. Pérez L., S. Rajaram D., A. Balbuena M., M. Albarrán M. y A. González H. 2012. Análisis de 20 genotipos de trigo harinero en el Valle de Yaqui, Sonora. *Rev. Mex. Cienc. Agric.*, 3(8):1521-1534.
- Vencovsky R. y P. Barriga. 1992. *Genética Biométrica no Fitomelhoramento de Plantas*. Sociedad Brasileira de Genética. Riberao Preto, Sao Paulo, Brasil. 486p.
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en México. En: *El trigo de temporal en México*. Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. INIFAP, CIR-Centro, CEVAMEX. 151-176 pp.
- Wilson, G. C. Y., Hernández, G. A., Ortega, C. M. E., López, C. C., Bárcena, G. R., Zaragoza, R. J. L. y Aranda, O. G. 2017. Análisis del crecimiento de tres líneas de cebada para producción de forraje, en el valle de México. *Rev. FCA UNCUYO*. 49(2):79-92.
- Yan W. L., A. Hunt., Q. Sheng y Z. Szlavnic. 2000. Cultivars evaluation and mega environment investigation based on GGE biplot. *Crop. Sci.* 40: 597-605.
- Yan, W, y L. A. Hunt. 1998. Genotype by environment interaction and crop yield. *Plant Breed. Rev.* 16:135-178.
- Yang, R. and R. Baker. 1991. Genotype environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci.* 31:83-87.
- Yan, W., and M. Kang. 2003. *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC Press, Boca Raton, FL. 271 p.
- Zamora V. V. M., M. Colín R., M. A. Torres T., A. Rodríguez G. y M. A. Jaramillo S. 2016. Producción y valor nutritivo en fracciones de forraje de trigos imberbes. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7:291-300.
- 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.
- Zhang, S., Liu, L. 2014. The potential of the MERIS Terrestrial Chlorophyll Index for crop yield prediction. *Remote Sensing Letters*, 5(8) 733-742.
- Zobel, R.W., M. J. Wright., H. G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80: 388-393.
- Zadoks J. C., Chang, T. T., and Konzak C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14 (12):415-421. Doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x.