

## **Agrupamiento de trigos mediante sensores infrarrojos y fracciones de forraje en tres muestreos**

Mirna Guadalupe Sánchez-Cruz  
Víctor Manuel Zamora-Villa<sup>§</sup>  
María Alejandra Torres-Tapia  
Modesto Colín-Rico  
Alejandro Javier Lozano del Río

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. Tel. 844 4110200. (i.c.a.sanchez.7@gmail.com; atorres.tapia@hotmail.com; modesto.colin@uaaan.edu.mx; ajlozanodelrio@yahoo.com).

<sup>§</sup>Autor para correspondencia: victor.zamora@uaaan.edu.mx.

### **Resumen**

El trigo es un cultivo importante para la alimentación humana y una alternativa forrajera extraordinaria para el ganado. En México no se le cultiva específicamente con ese objetivo, pero se trabaja en la generación de genotipos con fines forrajeros auxiliándose de tecnología emergente. Se evaluaron 22 genotipos de trigo y tres testigos de otra especie en cuatro ambientes durante los ciclos otoño-invierno 2017-2018 y 2018-2019 mediante un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, con el fin de agrupar genotipos a través de tres muestreos (a los 75, 90 y 105 días después de la siembra) y estimar la asociación entre variables. Con las medias de los genotipos a través de los ambientes se realizaron análisis de componentes principales y conglomerados para cada muestreo. Los resultados del análisis de varianza justificaron el estudiar los muestreos por separado. En cada muestreo se retuvieron hasta cinco grupos, existiendo grupos de trigos con rendimientos de forraje seco iguales o superiores al de la avena. En etapas tempranas se tuvo mayor proporción de hojas, las cuales disminuyeron al avanzar la etapa fenológica, mientras se incrementaba la fracción de espigas, con un leve decremento de la fracción de tallos. Existen grupos de trigos forrajeros que pueden representar una opción para sustituir la avena, sobresaliendo los trigos AN-229-09, AN-241-13, AN-268-99, AN-217-09 y AN-263-99. Se detectó una asociación positiva entre el NDVI, FSH y COB que perduró a través de los muestreos, sugiriendo que el uso de sensores infrarrojos puede emplearse en la estimación de materia seca de hojas.

**Palabras clave:** forraje seco, fracciones de forraje, muestreos, NDVI, trigo.

Recibido: noviembre de 2021

Aceptado: febrero de 2022

## Introducción

El trigo es uno de los cereales que sustenta la alimentación humana, ocupa alrededor de un tercio de la superficie total de cereales en el mundo proporcionando carbohidratos y proteína en la dieta. De forma indirecta pudiera proporcionar mayor cantidad de proteína a través de la leche o carne que puede producirse cuando se suministra como forraje al ganado. La forma de utilización de los forrajes es variable, existiendo desde el pastoreo directo, que resulta la opción más barata, hasta opciones como el verdeo, henificación y ensilaje. De igual manera, el tiempo en que se utiliza es tan variable como lo son las necesidades del ganado y el tipo de explotación, existiendo ocasiones que se requiere utilizar los forrajes invernales a los cincuenta días después de la siembra (dds) y en ocasiones se posterga su cosecha hasta por más de los 110 dds.

En México, al trigo no se le cultiva específicamente con ese objetivo, pero en algunos países como Argentina y Canadá tiene una presencia significativa como fuente de forraje (Gill *et al.*, 2013). En México la avena es el principal cultivo anual bajo riego para producción de forraje durante el invierno. En el año agrícola 2018, la avena forrajera nacional tuvo una superficie sembrada de 31 056.98 ha, con una producción de 822 825.9 t (SAGARPA, 2017; SIACON, 2018). Existe un potencial extraordinario para el uso de cereales de invierno en la zona semiárida de México, ya que en la época que se producen ocurren las menores pérdidas de agua por evaporación y la mayoría de los cereales poseen características deseables para la producción de forraje, tolerancia a bajas temperaturas y generalmente tienen también adecuado valor nutritivo.

Sin embargo, existen pocas variedades desarrolladas para su uso como fuente de forraje seco (biomasa aérea) en muchas de las especies de cereales como el triticale, cebada y trigo. Las instituciones que desarrollan investigación, realizan esfuerzos para generar nuevas opciones forrajeras en las especies mencionadas; sin embargo, para la evaluación de los nuevos genotipos forrajeros generalmente se utilizan metodologías destructivas (corte del forraje) para evaluar su productividad y si se desea obtener información de la producción en varias etapas de desarrollo es necesario realizar más muestreos o cortes, con el esfuerzo y costo que representan; recientemente se ha implementado el uso de diversas herramientas para la evaluación no destructiva de la producción de biomasa mediante el uso de sensores infrarrojos, tal es el caso del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), el cual se ha utilizado para monitorear los rendimientos de la producción de biomasa, estimando la cantidad y calidad de alimento y crecimiento de la vegetación, así como la presencia de enfermedades que reducen los índices de vegetación (Cabrera-Bosquet *et al.*, 2011; Pask *et al.*, 2012).

Los sensores también se han utilizado para medir otras variables tales como temperatura, con el uso del termómetro infrarrojo que permite registrarla de una manera remota sin interferir con el cultivo, empleando la información obtenida para el diagnóstico del estrés; así mismo, es posible estimar con sensores un índice de contenido de clorofila para relacionarlo con el estado nutricional del cultivo (Reynolds *et al.*, 2013).

Recientemente, se ha reportado que existen líneas de trigo que presentan adecuada producción y calidad de forraje similares a la avena (Zamora *et al.*, 2016) y en cebada se han realizado estudios donde se iguala o supera el rendimiento de la avena e inclusive han realizado agrupamientos de genotipos forrajeros con la intención de caracterizarlos y seleccionarlos (Colín *et al.*, 2007; Torres

*et al.*, 2019). En trigo para grano se han realizado agrupamientos basados en genes de interés agronómico (Suaste *et al.*, 2015). El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de forraje seco, sus fracciones, estimar la asociación con sensores infrarrojos y otras variables agronómicas, para agrupar genotipos de trigo sin aristas en tres muestreos.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en tres localidades del noreste de México: Zaragoza y San Pedro de las Colonias, Coahuila y Navidad, Nuevo León. Solamente en Zaragoza, Coahuila, se evaluaron los genotipos en dos ciclos de producción, por lo cual se denominará como ambiente a la combinación particular de la localidad y ciclo: el Campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el Municipio de Zaragoza, Coahuila, durante los ciclos otoño invierno (OI) 2017-2018 y 2018-2019 dieron origen a los ambientes 1 y 3, respectivamente, el ambiente 4 lo constituyó el campo experimental Ing. Humberto Treviño Siller, propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Navidad, NL, durante el ciclo OI 2018-2019 y el ejido San Ignacio, San Pedro de las Colonias, Coahuila, durante el OI 2018-2019 constituyó el ambiente 2.

Zaragoza, Coahuila, se ubica 28° 33'' latitud norte y 100° 55'' longitud oeste, a una altitud de 350 m, con clima seco, semicálido, extremoso, con invierno fresco, con una temperatura media anual es de 21.4 °C. La localidad San Ignacio se ubica 25° 32'' latitud norte y 103° 15'' longitud oeste, a una altitud de 1 100 m, con clima árido y semi árido y una temperatura anual de 19.1 °C. Navidad, NL, se localiza a 25° 04'' de latitud norte y 100° 37'' de longitud oeste; con una altitud de 1 895 m, clima semiárido, templado y una temperatura media anual de 14.6 °C (Arriaga *et al.*, 2000).

Se evaluaron 22 líneas de trigo forrajero sin aristas, utilizando como testigos una avena (*cv*. Cuauhtémoc), una cebada forrajera (*cv* GABYAN95) y un triticale de grano (*cv* Eronga-83), cuya identificación y número aparecen en el Cuadro 1. Estos genotipos se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, considerando la parcela experimental de 6.48 m<sup>2</sup> (6 surcos de 3 m de longitud, espaciados a 0.36 m). La preparación del terreno fue acorde a las labores tradicionales en las regiones donde se siembra trigo, bajo condiciones de riego, realizando el barbecho, rastreo y nivelación, sembrando en seco, manualmente y a chorrillo a una densidad de 120 kg ha<sup>-1</sup>.

**Cuadro 1. Genotipos evaluados en los cuatro ambientes de prueba.**

Genotipo	Identificación	Genotipo	Identificación
G1	AN-249-99	G14	AN-228-09
G2	AN-268-99	G15	AN-229-09
G3	AN-263-99	G16	AN-264-09
G4	AN-267-99	G17	AN-326-09
G5	AN-244-99	G18	AN-7-09
G6	AN-236-99	G19	AN-241-13
G7	AN-209-09	G20	AN-409-13
G8	AN-216-09	G21	AN-246-13
G9	AN-217-09	G22	AN-310-13

Genotipo	Identificación	Genotipo	Identificación
G10	AN-218-09	G23	AVENA
G11	AN-220-09	G24	NARRO 95
G12	AN-221-09	G25	ERONGA
G13	AN-222-09		

A la siembra se aplicaron 60 unidades de nitrógeno usando urea como fuente y 80 unidades de fósforo utilizando fosfato monoamónico (MAP). En el primer riego de auxilio se aplicaron otras 60 unidades más de nitrógeno. En todas las localidades se realizó un riego de siembra y tres riegos auxiliares aportando una lámina total aproximada durante el ciclo del cultivo de 40 cm. Las malezas de hoja ancha se controlaron con 2,4-D amina a una dosis de 1.5 L ha<sup>-1</sup>, complementándose con deshierbes manuales, no se aplicó fungicida o insecticida dada la baja incidencia de insectos y enfermedades fungosas.

Se realizaron tres muestreos de forraje a los 75, 90 y 105 días después de la siembra (dds), cortando el forraje con una hoz, a una altura aproximada de 5 cm sobre la superficie del suelo, cosechando 50 cm de una hilera con competencia completa. Las muestras de forraje verde cosechado en cada muestreo se colocaron en bolsas de papel kraft o estraza y se llevaron a un asoleadero cerrado para secar el forraje a temperatura ambiente, moviéndolas constantemente para evitar pudriciones.

Se monitoreó hasta que alcanzaron peso constante y se registró el rendimiento de forraje seco en gramos, cada muestra se separó en las fracciones: forraje seco de tallo (FST), forraje seco de hoja (FSH), forraje seco de espiga (FSE), transformándose a t ha<sup>-1</sup>, con la suma de estas fracciones se calculó el forraje seco total (FSTOT). Al momento del corte de forraje, en cada uno de los tres muestreos, se registraron las variables: altura de la planta en centímetros (ALTURA), cobertura del terreno en porcentaje (COB), temperatura del dosel en grados Celsius (TEMP), índice de concentración de clorofila (CLORO), índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y la etapa fenológica (ETAPA) de acuerdo con la escala de Zadocks *et al.* (1974).

La TEMP se midió con un termómetro infrarrojo IP-54, marca Fluke, con mira laser, señalando en la parte media de cada parcela experimental para registrar la variable. Para medir el contenido de clorofila, se utilizó un clorofilómetro SPAD-502, marca Konica Minolta, realizando la lectura en la parte media de la lámina de 10 hojas bandera. El NDVI, se midió a través de un sensor portátil, marca Green Seeker<sup>TM</sup>, evaluando en la parte central de cada parcela. La información recabada en los tres muestreos se analizó mediante un modelo de parcelas subdivididas con arreglo en bloques al azar, considerando los ambientes como parcela grande, los muestreos como parcela mediana y los genotipos como parcela chica, las medias se compararon utilizando la prueba DMS al 0.05% de probabilidad mediante el uso del programa SAS (1989).

Con las medias de los genotipos a través de los ambientes, se realizaron análisis multivariados de componentes principales (ACP) y conglomerados (AC) para cada muestreo, el ACP con el fin de reducir la dimensionalidad de los datos, detectar asociaciones entre variables y la caracterización parcial de los genotipos (Manly, 1986) y el AC para conformar grupos de genotipos similares entre sí y distintos a los de otros grupos, utilizando la metodología de Ward (1963), estos análisis se realizaron con el programa Statistica (Statistica, 1994).

## Resultados y discusión

El análisis de varianza reportó significancia ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes, muestreos, la interacción muestreos por ambiente y entre genotipos para todas las variables evaluadas, el efecto de los muestreos provocó mayores cuadrados medios en casi todas las variables, excepto en forraje seco de hojas (FSH), contenido de clorofila (CLORO) y cobertura (COB), en las cuales el efecto de las localidades promovió mayor variación. La interacción genotipo por ambiente no resultó significativa para la variable temperatura del dosel y solo fue significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el forraje seco total, mientras que en el resto de las variables se detectó alta significancia. La interacción muestreos por genotipo resultó altamente significativa para las variables forraje seco de espigas (FSE), altura de planta (ALT), índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), (CLORO) y (ETAPA), significativa en FSH y no significativa en COB, temperatura del dosel (TEMP), forraje seco de tallos (FST) y forraje seco total (FSTOT).

La triple interacción resultó significativa para el NDVI, altamente significativa en CLORO, ALT, ETAPA y FSE, mientras que en FSTOT, FST, FSH, TEMP y COB no fue significativa, reafirmando que la temperatura del dosel mostró poca interacción, en tanto que el contenido de clorofila, altura de planta, etapa fenológica, forraje seco de espigas y el NDVI interaccionaron fuertemente con los ambientes y muestreos.

La comparación de medias de los ambientes (DMS al 0.05 de probabilidad) reportó que el ambiente 2 (San Ignacio, Coahuila, OI 2018-2019) fue el ambiente más productivo, con mayor cantidad de tallos y hojas, mayores valores de NDVI y cobertura del terreno, por su parte Navidad, NL, OI 2018-2019 (ambiente 4) mostró la mayor temperatura del dosel, etapa fenológica más avanzada y mayor cantidad de espigas.

El ambiente 1 (Zaragoza, Coahuila, OI 2017-2018) registró los contenidos de clorofila más altos. Shao *et al.* (1995); Torres *et al.* (2019), han destacado la importancia del efecto de los ambientes sobre la producción de forraje, coincidiendo con lo encontrado en el presente estudio, extendiendo esta aseveración a las demás variables estudiadas. Respecto a los muestreos, el tercero (realizado a los 105 dds) fue el que alcanzó los mayores valores en casi todas las variables, excepto NDVI y CLORO, el NDVI registró la media más alta en el primer muestreo (75 dds), mientras que el contenido de clorofila registró la media más alta en el segundo muestreo (90 dds).

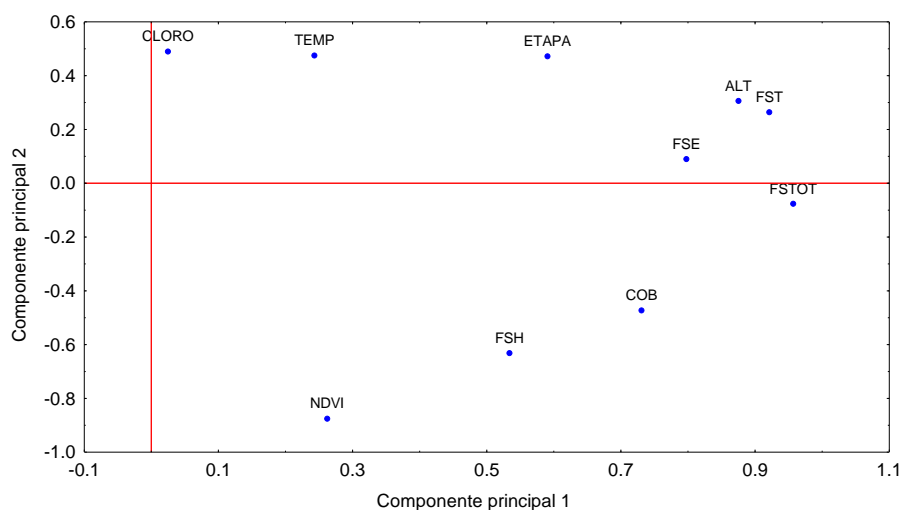
Esto significa que al avanzar el tiempo la planta acumula más biomasa, incrementa su etapa fenológica y continua su crecimiento; sin embargo, el NDVI al ser un índice que mide el verdor de la planta mostró sus mayores valores en etapas juveniles y disminuyó conforme la planta maduró, este comportamiento no ocurrió con el contenido de clorofila, que en este estudio alcanzó su mayor valor en la etapa de espigamiento medio, cuando la planta se prepara para el llenado de grano.

Entre los genotipos, la prueba de medias calificó como el más productivo a la cebada forrajera GABYAN95 seguida por los genotipos de trigo AN-229-09, AN-241-13, AN-268-99, AN-217-09 y AN-263-99, todos ellos superando estadísticamente a la avena *cv* Cuauhtémoc, confirmando reportes previos de la existencia de otros cereales que productivamente superan a la avena (Zamora *et al.*, 2002; Colín *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2016; Torres *et al.*, 2019). Debido a la significancia detectada entre los muestreos y la magnitud de la varianza provocada, así como el contar con

información que permita utilizar el forraje producido en corto tiempo, se procedió a realizar análisis multivariados para cada muestreo, con el fin de caracterizar parcialmente a los genotipos y establecer semejanzas y diferencias entre ellos.

El análisis de componentes principales (ACP) para el primer muestreo (realizado a 75 dds), explicó 67.15% de la varianza total con los primeros dos componentes principales (CP). El CP1 contuvo un 44.65% de la varianza, donde FSTOT, FSE, FST, ALT y COB se asociaron positivamente entre sí y con este CP 1. El CP2 retuvo 22.5% de la varianza total y explicó la relación positiva entre el NDVI y FSH (ambos se relacionaron negativamente con el componente 2).

Con los dos primeros componentes se construyó la Figura 1, en la cual se aprecia la asociación arriba mencionada entre las variables FSE, ALT, FST, ETAPA, TEMP, CLORO, entre otras, destacando la fuerte asociación de FST con ALT y FSE asociados a FSTOT que coincide con la relación reportada por Colín *et al.* (2009); Gill *et al.* (2013); Torres *et al.* (2019), respecto a la asociación de una mayor producción de forraje con genotipos altos. Se confirma la relación negativa entre NDVI y CLORO, que ha sido reportada en cebadas forrajeras (Torres *et al.*, 2019), así como la relación negativa entre el NDVI y la ETAPA por ellos detectada.



**Figura 1. Relaciones entre las variables evaluadas en el plano de los dos componentes principales en un primer muestreo (75 días).**

Se ha reportado en otros estudios que el ACP es una herramienta útil en la caracterización parcial de genotipos y su complementariedad con un análisis de conglomerados (Colin *et al.*, 2007; Suaste *et al.*, 2015; Torres *et al.*, 2019), debido a lo cual se realizó el análisis de conglomerados mediante la metodología de Ward (1963), donde se retuvieron cinco grupos, ya que Colín *et al.* (2007); Torres *et al.* (2019) han reportado en cebada la existencia de al menos cinco grupos de genotipos diferentes entre sí y con características interesantes para la producción de forraje.

En este estudio el primer grupo detectado a los 75 dds, se conformó por 14 genotipos (AN-249-99 (G1), AN-267-99 (G4), AN-220-09 (G11), AN-218-09 (G10), AN-236-99 (G6), AN-216-09 (G8), AN-221-09 (G12), AN-264-09 (G16), AN-244-99 (G5), AN-217-09 (G9), AN-209-09 (G7), AN-222-09 (G13) y AN-241-13 (G19)), que mostraron un comportamiento similar al del testigo avena

cv Cuauhtémoc (G23), que formó parte de este grupo y en conjunto se caracterizaron por no presentar la fracción correspondiente a las espigas, debido a que en promedio se encontraban en la etapa fenológica de inicio de emisión de hoja bandera fueron los más tardíos del (Cuadro 2), reforzando la aseveración referente a la existencia de trigos forrajeros con características similares a las de la avena (Zamora *et al.*, 2016).

**Cuadro 2. Número de integrantes (n), medias de las variables en los grupos generados por el análisis de conglomerados a un primer muestreo de 75 días.**

Variables	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
n	14	1	8	1	1
FSTOT	3.11	4.71	3.28	3.87	3.02
FST	1.25	2.31	1.56	1.93	1.28
FSE	0	0.12	0.02	0	0.05
FSH	1.86	2.29	1.71	1.94	1.69
TEMP	14.82	14.81	15.19	23.65	14.66
ALT	51.8	68.75	55.63	62.5	51.67
NDVI	0.75	0.78	0.72	0.7	0.72
CLORO	38.01	39.08	38.8	39.51	46.76
COB	71.63	87	69.71	69.58	72.25
ETAPA	36.07	38.83	37.81	37.5	38.5

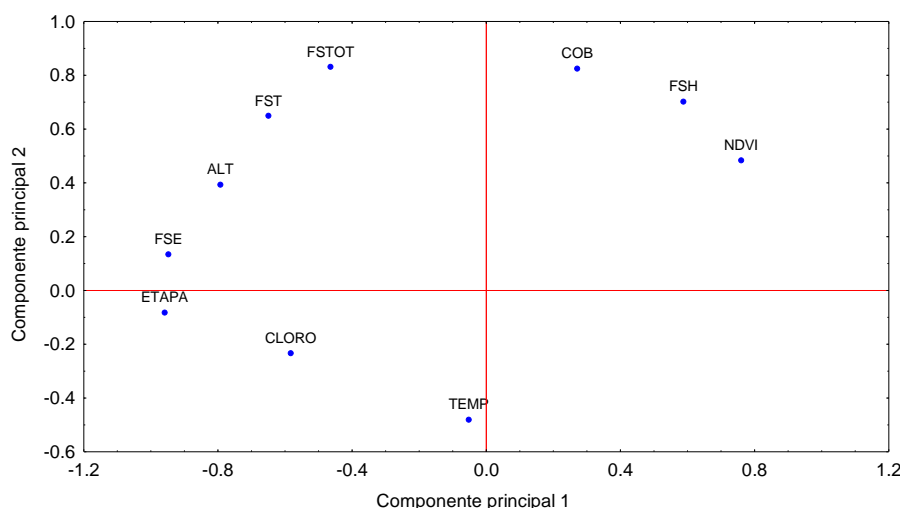
FSTOT= forraje seco total (rendimiento); FST= forraje seco de tallo; FSE= forraje seco de espigas; FSH= forraje seco de hoja; TEMP= temperatura del dosel; ALT= altura de la planta; NDVI= índice de vegetación diferencial normalizado; COB= cobertura de la planta; ETAPA= etapa fenológica.

Otro grupo de genotipos (Grupo 3), estuvo conformado por los trigos AN-268-99 (G2), AN-263-99 (G3), AN-228-09 (G14), AN-326-09 (G17), AN-409-13 (G20), AN-310-13 (G22), AN-7-09 (G18) y AN-246-13 (G21), quienes mostraron un rendimiento promedio de FSTOT de 3.28 t ha<sup>-1</sup>, ligeramente superior al del Grupo 1, con mayor proporción de tallos, pero menos hoja y una pequeña fracción debida a la espiga y se caracterizan también por su mayor altura de planta y etapa fenológica. El genotipo más diferente en su comportamiento durante el primer muestreo fue la cebada GABYAN95 (G24), que mostró la distancia más grande detectada por el análisis y se ubicó como único integrante del Grupo 2, con el mayor rendimiento de forraje, superando por más de 1.7 t ha<sup>-1</sup> al triticale cv. Eronga 83 (único integrante del grupo 5).

Llama la atención en el Cuadro 1, que el genotipo AN-229-09 (único integrante del grupo 4) presentó el segundo mayor rendimiento de forraje seco, altura de planta, FSH y FST combinado con la mayor temperatura de planta y bajo NDVI, que lo distinguió de los demás trigos y ubicó intermedio entre el triticale (grupo 5) y la cebada (grupo 2). Torres *et al.* (2019) refieren que el análisis de conglomerados ha sido capaz de diferenciar o separar en grupos distintos a las especies testigo, de forma similar a lo aquí reportado. A los 75 dds, ellos han reportado rendimientos de forraje superiores (hasta 11.9 t ha<sup>-1</sup>), mismos que se deben principalmente al rápido desarrollo de la cebada comparada con otros cereales (Domínguez *et al.*, 2016) y debido a lo cual produce forraje y grano en menor tiempo (Colin *et al.*, 2009; Wilson *et al.*, 2017).

En este muestreo, las hojas fueron la fracción más abundante con 56.01% de aporte al FSTOT, seguida por los tallos con 43.61%, en tanto que las espigas representaron solo el 0.37%. El ACP para el segundo muestreo realizado a los 90 días después de la siembra, explicó con los dos primeros componentes un 74.02% de la varianza total. El primer componente contuvo 44.20% de la varianza y detectó la asociación positiva entre el NDVI, FSH y COB.

El segundo componente explicó un 29.81% de la varianza, con la asociación positiva entre sí y negativa con el componente de las variables TEMP, CLORO y ETAPA. Con la información de los dos primeros componentes se construyó la (Figura 2), en la cual se aprecia la asociación entre NDVI, FSH y COB ubicada en el primer cuadrante y que indica la mayor cobertura del terreno se presenta cuando existe más forraje debido a las hojas, que repercute en un mayor índice de verdor.



**Figura 2. Distribución de genotipos en el plano de los dos componentes principales en un segundo muestreo (90 días).**

El forraje seco total estuvo más relacionado con mayor forraje de tallos, espigas y mayor altura de planta, confirmando también en este muestreo la relación ya reportada entre la altura de planta y la producción de forraje (Colín *et al.*, 2009; Gill *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2019). De acuerdo con el análisis de conglomerados (AC) realizado a los 90 dds, se distinguieron hasta 5 grupos diferentes entre sí. El primer grupo conformado por los genotipos de trigo AN-249-99 (G1), AN-267-99 (G4), AN-216-09 (G8), AN-264-09 (G16), AN-244-99 (G5), AN-217-09 (G9), AN-209-09 (G7), AN-218-09 (G10), AN-221-09 (G12), AN-222-09 (G13) y avena *cv* Cuauhtémoc, los cuales obtuvieron un rendimiento promedio de 5.72 t ha<sup>-1</sup>, conservaron la menor etapa fenológica detectada desde el muestreo anterior y presentaron la menor cantidad de espigas, tal como aparece en el (Cuadro 3).

El segundo grupo incluyó los genotipos AN-268-99 (G2), AN-263-99 (G3), AN-236-99 (G6), AN-326-09 (G17) y AN-220-09 (G11) con un rendimiento promedio de 6.24 t ha<sup>-1</sup> y características intermedias para el resto de las variables en comparación con los otros grupos detectados. El Grupo 3 contuvo a los genotipos: 15 (AN-229-09), 19 (AN-241-13) y la cebada forrajera GABYAN95, quienes mostraron la mayor producción de forraje (7.48 t ha<sup>-1</sup>) combinada con la mayor cantidad de FST, FSH, ALT, COB y NDVI. Confirmando en este muestreo la existencia de trigos con características similares a dicha cebada.



**Cuadro 3. Número de integrantes (n), medias de los grupos generados por el análisis de conglomerados a un primer muestreo de 90 días.**

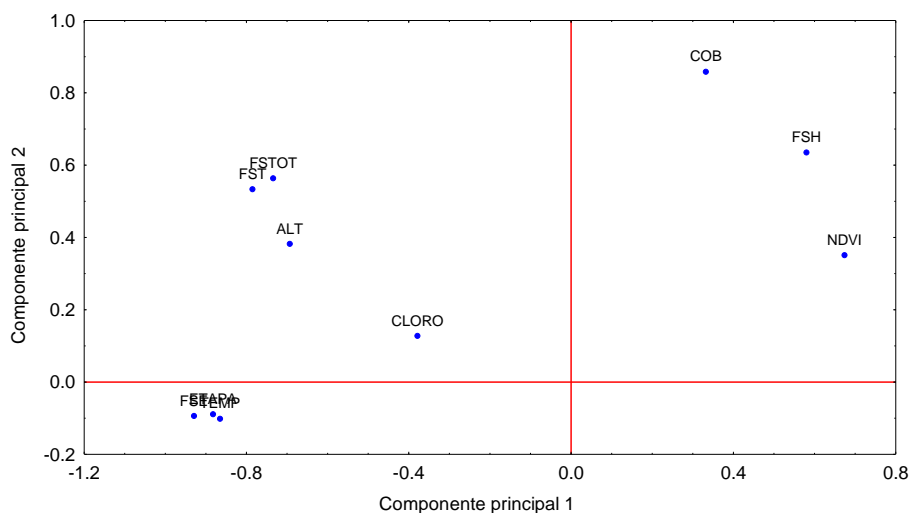
Variables	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
n	11	5	3	2	4
FSTOT	5.72	6.24	7.48	5.9	6.09
FST	2.8	3.19	3.94	3.12	3.29
FSE	0.28	0.58	0.69	0.63	0.77
FSH	2.64	2.47	2.86	2.15	2.03
TEMP	19.59	19.75	19.43	20.04	19.47
ALT	80.23	83.5	96.11	89.17	91.35
NDVI	0.72	0.68	0.71	0.66	0.67
COLORO	39.6	40.17	41.84	47.57	41.75
COB	75.41	73.38	79.11	72	72.02
ETAPA	50.39	54.23	55.39	56.75	58.96

FSTOT= forraje seco total (rendimiento); FST= forraje seco de tallo; FSE= forraje seco de espigas; FSH= forraje seco de hoja; TEMP= temperatura del dosel; ALT= altura de la planta; NDVI= índice de vegetación diferencial normalizado; COB= cobertura de la planta; ETAPA= etapa fenológica.

El triticale Eronga 83 (G25) se agrupó con el genotipo 14 de trigo (AN-228-09) y conformaron el Grupo 4, que de acuerdo con el Cuadro 2, se distinguieron por presentar las mayores TEMP y CLORO combinados con menores NDVI y COB de los grupos retenidos. Finalmente, el Grupo 5 se conformó con los genotipos de trigo: 18 (AN-7-09), 20 (AN-409-13), 22 (AN-310-13) y 21 (AN-246-13) quienes mostraron la mayor etapa fenológica y FST combinados con un rendimiento de 6.09 t ha<sup>-1</sup>. En tiempos similares de muestreo (90 dds), Torres *et al.* (2019), reportaron que la avena y el triticale Eronga 83 se agruparon en un mismo grupo, lo cual no sucedió en este estudio debido probablemente a efectos ambientales. En este segundo muestreo, los tallos fueron la fracción más abundante (51.07%), seguida por las hojas (40.81%) y las espigas contribuyeron con 8.12% al FSTOT.

En el último muestreo, realizado a los 105 dds, el ACP continuó detectando la asociación positiva entre el NDVI, FSH y COB, que al parecer es característico en los genotipos evaluados. De igual manera la relación entre la altura de planta y el forraje seco producido continuó de forma positiva, tal como se aprecia en la (Figura 3) y permite confirmar que también en los trigos evaluados existe esta asociación previamente reportada en cebadas forrajeras (Colín *et al.*, 2009; Gill *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2019).

De los cinco grupos de interés detectados por el análisis de conglomerados, el primero de ellos comprendió los genotipos de trigo: 1 (AN-249-99), 6 (AN-236-99), 17 (AN-326-09), 4 (AN-267-99), 12 (AN-220-09), 5 (AN-244-99), 8 (AN-216-09), 11 (AN-220-09), 16 (AN-264-09), 7 (AN-209-09), 13 (AN-222-09), 10 (AN-218-09) y 9 (AN-217-09). En este muestreo a diferencia de los anteriores, la avena *cv* Cuauhtémoc se ubicó como único integrante del Grupo 3 mostrando la etapa fenológica más baja de los grupos retenidos y de acuerdo con el (Cuadro 4), los integrantes del Grupo 1 superaron la producción de la avena en un promedio de 1.4 t ha<sup>-1</sup>, con menor FSH, NDVI, CLORO y COB que ésta, pero con mayores proporciones de FST, FSE, debidos posiblemente a la mayor ETAPA registrada por el Grupo 1.



**Figura 3. Distribución de genotipos en el plano de los dos componentes principales en un tercer muestreo (105 días).**

El Grupo 2 se constituyó con los trigos 2 (AN-268-99), 3 (AN-263-99), 18 (AN-7-09), 22 (AN-310-13), 14 (AN-228-09), 15 (AN-229-09) y 20 (AN-409-13) que compartieron características similares con el triticale cv. Eronga 83, tales como el segundo mayor rendimiento ( $10.01 \text{ t ha}^{-1}$ ), la mayor TEMP, bajo NDVI y COB. Por su parte la cebada forrajera GABYAN95 fue el único integrante del Grupo 4, mostrando el mayor rendimiento de forraje seco, altura de planta, COB y ETAPA combinados con altos valores de FST y FSH. El Grupo 5 con los genotipos de trigo 19 (AN-241-13) y 21 (AN-246-13), se caracterizó por un rendimiento de  $9.85 \text{ t ha}^{-1}$  combinado con alta proporción de espigas y la mayor altura de planta, tal como se aprecia en (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Número de integrantes (n), media de los grupos generados por el análisis de conglomerados a un primer muestreo de 105 días.**

Variables	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
n	13	8	1	1	2
FSTOT	9.02	10.01	7.63	11.56	9.85
FST	4.47	5.19	3.89	5.72	5.18
FSE	1.74	2.44	0.59	2.27	2.48
FSH	2.81	2.39	3.15	3.56	2.19
TEMP	24.46	25.28	24.28	25.07	24.63
ALT	100.26	112.08	111.67	113.75	119.17
NDVI	0.59	0.54	0.64	0.55	0.61
CLORO	38.74	42.64	46.63	39.48	42.21
COB	80.37	78.72	86.83	89.25	83
ETAPA	71.4	75.64	61.5	78	75.71

FSTOT= forraje seco total (rendimiento); FST= forraje seco de tallo; FSE= forraje seco de espigas; FSH= forraje seco de hoja; TEMP= temperatura del dosel; ALT= altura de la planta; NDVI= índice de vegetación diferencial normalizado; COB= cobertura de la planta; ETAPA= etapa fenológica.

A los 105 dds, los tallos continuaron siendo la fracción más abundante (51.07%), seguida por las hojas (28.26%) y espigas (20.95%), coincidiendo en el orden de contribución reportado por Zamora *et al.* (2016) a los 118 dds en los trigos por ellos evaluados, pero difiriendo en sus porcentajes, ya que ellos reportaron 50.98, 36.11 y 12.91% para tallos, hojas y espigas, respectivamente.

En este estudio se pudo constatar que en etapas tempranas como a los 75 dds se tiene mayor proporción de hojas, las cuales disminuyen al avanzar la etapa fenológica, mientras que se incrementa la fracción de espigas, con un leve decremento de la fracción debida a los tallos. Colín *et al.* (2007, 2009); Zamora *et al.* (2016); Torres *et al.* (2019), han utilizado el plano generado por los dos primeros componentes principales para graficar y caracterizar parcialmente a los genotipos y al realizar los conglomerados han visualizado el complemento de ambos análisis multivariados y que efectivamente pueden apoyar en la selección de genotipos acorde a su posible uso final.

Así, en este estudio se detectó que a los 75 dds existen grupos de trigos que proporcionan igual o más producción que la avena, a los 90 dds se mantiene esta aseveración y se detectaron trigos con comportamiento similar al de la cebada o del triticale evaluado, en tanto que a los 105 dds hubo grupos de trigos que superaron la producción mostrada por la avena *cv* Cuauhtémoc.

## Conclusiones

El tiempo de realización de los muestreos provocó variación significativa en las variables evaluadas, superior a la provocada por los ambientes de estudio y probablemente relacionada con el cambio en las proporciones que aportaron fracciones de forraje estudiadas. La cebada forrajera GABYAN95 obtuvo los rendimientos de forraje más altos en este estudio. Existen grupos de trigos forrajeros que pueden representar una opción para sustituir la avena *cv* Cuauhtémoc ofreciendo mayores rendimientos de forraje seco y pudieran ser incluidos en esquemas productivos, en lo individual sobresalieron los trigos AN-229-09, AN-241-13, AN268-99, AN-217-09 y AN-263-99 por su rendimiento de forraje seco superior al de la avena a través de los ambientes de prueba. En los genotipos evaluados se detectó una asociación positiva entre el NDVI, FSH y COB que perduró a través de los muestreos realizados, lo que sugiere que el uso de sensores infrarrojos puede emplearse en la estimación de materia seca de hojas.

## Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma Antonio Narro por el apoyo en la realización de este trabajo de investigación.

## Literatura citada

- Arriaga, L.; Espinoza, J. M.; Aguilar, C.; Martínez, E.; Gómez, L. y Loa, E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). 1<sup>ra</sup>. (Ed.). México, DF. 611 p.
- Cabrera-Bosquet, L.; Molero, G.; Stellaci, A.; Bort, J.; Nogués, S. and Araus, J. 2011. NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. Hungary. *Cereal Res. Comm.* 39(1):147-159.

- Colín, R. M.; Zamora, V. V. M.; Lozano del R, A. J.; Martínez, Z. G. y Torres, T. M. A. 2007. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. *México. Téc. Pec. Méx.* 45(3):249-262.
- Colín, R. M.; Zamora, V. V. M.; Torres, T. M. A. y Jaramillo, S. M. A. 2009. Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en el norte de México. *Téc. Pec. Méx.* 47(1):27-40.
- 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. *México. Terra Latinoam.* 34(4):393-407.
- Gill, K. S. K.; Omokanye, A. T.; Pettyjohn, J. P. and Elsen, M. 2013. Evaluation of forage type barley varieties for forage yield and nutritive value in the peace region of Alberta. *England. J. Agric. Sci.* 5(2):24-36.
- Manly, B. F. J. 1986. *Multivariate statistical methods: a primer.* Chapman and Hall. London-New York. London. 159 p.
- Pask, A. J. D.; Pietragalla, J.; Mullan, D. M. and Reynolds, M. P. 2012. *Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping.* Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). First (Ed.). DF, México. 133 p.
- Reynolds, M. P.; Pask, A. J. D.; Mullan, D. M. y Chávez, D. P. N. 2013. *Fitomejoramiento fisiológico I: enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo.* Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1ª (Ed.). México, DF. 174 p.
- SAS. 1989. *Institute Inc. SAS/STAT User's guide. Version 6. Fourth edition.* SAS Institute Inc., Cary, NC. 943 p.
- SAGARPA. 2017. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación planeación agrícola nacional 2017-2030.* <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256424/b-sico-avena.pdf>.
- SIACON. 2018. *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Producción nacional por cultivo.* <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
- Shao, G. and Halpin, P. N. 1995. Climatic controls of eastern north American coastal tree and shrub distributions. *USA. J. Biogeogr.* 22(6):1083-1089.
- Statistica, 1994. *Statistica for windows (ver. 7).* StatSoft, Inc. Tulsa Ok, USA.
- Suaste, F. M. P.; Zamora, V. V. M.; Reyes, V. M. H.; Villaseñor, M. H. E.; Santacruz, V. S. A. y Moya, S. E. 2015. Agrupamiento de genotipos de la colección nacional de trigo en base a genes de interés agronómico. *México. Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(4):695-706.
- Torres, T. M. A.; Zamora, V. V. M.; Colín, R. M.; Foroughbakhch, P. R. y Ngangyo, H. M. 2019. Caracterización y agrupamiento de cebadas imberbes mediante sensores infrarrojos y rendimiento de forraje. *México. Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10(5):1125-1137.
- Ward, J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *USA. J. Am. Statistical Association.* 58(301):236-244.
- 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. *Argentina. Rev. FCA Uncuyo.* 49(2):79-92.
- Zadocks, J. C.; Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *UK. Weed Res.* 14(12):415-421.
- Zamora, V. V. M.; Lozano, R. A. J.; López, B. A.; Reyes, V. M. H.; Díaz, S. H.; Martínez, R. J. M. y Fuentes, R. J. M. 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Téc. Pec. Méx.* 40(3):229-242.
- Zamora, V. V. M.; Colín, R. M.; Torres, T. M. A.; Rodríguez, G. A. y Jaramillo, S. M. A. 2016. Producción y valor nutritivo en fracciones de forraje de trigos imberbes. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(2):291-300.