

Evaluación y selección de genotipos de cereales forrajeros a través de técnicas multivariadas en Nariño, Colombia

Evaluation and selection of forage cereal genotypes through multivariate techniques in Nariño, Colombia

Filadelfo Hernández-Oviedo <https://orcid.org/0000-0002-1549-4926>, Paola Andrea Portillo-López <https://orcid.org/0000-0003-1189-9173>, Diego Hernán Meneses-Buitrago <https://orcid.org/0000-0003-3033-3079> y Edwin Castro-Rincón <https://orcid.org/0000-0001-9841-8242>
¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. Centro de Investigación Obonuco. km. 5, vía Pasto-Obonuco, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. fhernandez@agrosavia.co, pportillo@agrosavia.co, dmeneses@agrosavia.co, ecastro@agrosavia.co

Resumen

Objetivo: Evaluar la adaptación y rendimiento de forraje en accesiones de *Hordeum vulgare* L. y *Triticum* sp. en el trópico alto de Nariño, Colombia.

Métodos: El estudio se realizó en el Centro de Investigación Obonuco de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Pasto, Nariño. Se evaluaron 26 accesiones de *H. vulgare*, 23 de *Triticum* sp. y una de *Avena sativa* L., bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: vigor, altura, número de hojas, número de tallos, incidencia de plagas, incidencia y severidad de enfermedades, deficiencias nutricionales, porcentaje de materia seca. Se efectuó un análisis multivariado factorial de datos mixtos; seguido de un análisis jerárquico tipo clúster, a través del algoritmo de Ward. Para el análisis se empleó el software R V.3.6.0.

Resultados: Las accesiones de *H. vulgare* presentaron mayor producción de hojas que variaron entre 65,0 y 123,0; mientras que los tallos entre 13,0 y 25,0; una buena altura y mayor porcentaje de materia seca. Las accesiones de *Triticum* sp. presentaron mayor producción de hojas, de tallos y rendimiento de materia seca, con una baja incidencia de enfermedades.

Conclusiones: Se reconocieron materiales de *H. vulgare* y *Triticum* sp. con potencial para continuar en los programas de investigación y que pueden ser una alternativa para mitigar la estacionalidad forrajera y la baja calidad que se encuentra durante las estaciones secas del trópico alto Nariñense.

Palabras clave: adaptación, estacionalidad forrajera, sistemas productivos

Abstract

Objective: To evaluate the adaptation and forage yield of *Hordeum vulgare* L. and *Triticum* sp. accessions in the high tropics of Nariño, Colombia.

Methods: The study was conducted at the Obonuco Research Center of the Colombian Agricultural Research Corporation, Pasto, Nariño. Twenty-six accessions of *H. vulgare*, 23 of *Triticum* sp. and one of *Avena sativa* L. were evaluated under a complete randomized block design with four replicas per treatment. The evaluated variables were: vigor, height, number of leaves, number of stems, pest incidence, disease incidence and severity, nutritional deficiencies, dry matter percentage. A multivariate factorial analysis of mixed data was carried out, followed by a hierarchical cluster analysis using Ward's algorithm. The R V.3.6.0 software was used for the analysis.

Results: *H. vulgare* accessions showed higher leaf production ranging from 65,0 to 123,0; while stems ranged from 13,0 to 25,0; good height and higher dry matter percentage. *Triticum* sp. accessions had higher leaf production, stems and dry matter yield, with low disease incidence.

Conclusions: *H. vulgare* and *Triticum* sp. materials were recognized with potential to continue in research programs and which can be an alternative to mitigate the forage seasonality and low quality found during the dry seasons of the high Nariño tropics.

Keywords: adaptation, forage seasonality, productive systems.

Introducción

La ganadería constituye un motor para el desarrollo de la agricultura, así como un impulsor de importantes cambios económicos, sociales y ambientales en los sistemas alimentarios globales

(FAO, 2019). En Colombia, la producción de leche es una actividad principal en la agricultura, porque garantiza la seguridad y la soberanía alimentarias. Además, dentro de los productos de origen animal, la leche genera las menores emisiones de gases de efecto

Recibido: 09/07/2022

Aceptado: 14/11/2022

Como citar este artículo: Hernández-Oviedo, Filadelfo; Portillo-López, Paola Andrea; Meneses-Buitrago, Diego Hernán & Castro-Rincón, Edwin. Evaluación y selección de genotipos de cereales forrajeros a través de técnicas multivariadas en Nariño, Colombia. *Pastos y Forrajes*. 45:e25, 2022.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

invernadero por unidad de producto, lo que tiene importancia en el marco del desarrollo de sistemas sostenibles de producción animal (Gerber *et al.*, 2013).

Según Carulla y Ortega (2016) la producción de leche en este país está basada en un 85 % en pasturas de *Cenchrus clandestinus* Hoschst. ex Chiov. (kikuyo), en algunos casos se presenta en mezclas con leguminosas y con otras gramíneas como *Lolium* sp. (ryegrass). En tal sentido, es necesario incrementar el cultivo de especies forrajeras para un buen rendimiento en materia seca con especies tolerantes en condiciones extremas de la región, de esta manera garantizar la alimentación animal principalmente en periodos secos (Aduviri, 2014).

Los cereales de grano pequeño como *Hordeum vulgare* L. y *Triticum* sp. se han convertido en una alternativa alimenticia y han sido incorporados dentro de los sistemas de alimentación de rumiantes (Arreaza, 2012). La producción de cereales destinados a ser pastoreados directamente o incorporados a través de forrajes conservados (ensilajes, henolajes o henos), es una estrategia que permite suplir las deficiencias de forraje en épocas de poca disponibilidad de biomasa como la sequía o heladas (Ding *et al.*, 2015).

A causa de la disminución de la oferta forrajera en las épocas de bajas precipitaciones y heladas, el ganado reduce el consumo de materia seca, lo que afecta la producción y la calidad de la leche (Mella-Fuentes, 2005). Por esto, es importante incluir la suplementación con cultivos forrajeros no tradicionales que suplan los requerimientos nutricionales y que complementen la dieta de pastoreo de los animales en producción (Cuesta-Muñoz *et al.*, 2006).

En Colombia, los principales departamentos productores de estos cereales son Boyacá, Cundinamarca y Nariño. Sin embargo, las hectáreas de estos cultivos han disminuido desde 1950 hasta 2020 en un 93,5 y 98,3 % para *H. vulgare* y *Triticum* sp. respectivamente; con el posterior aumento en las importaciones (FENALCE, 2020).

H. vulgare, por ejemplo, es un alimento rico en nutrientes con altos contenidos de carbohidratos, una concentración moderada de proteínas, alto contenido de fibra, y es una buena fuente de fósforo y potasio (Lahouar *et al.*, 2016); aunque el 85 % de la producción nacional es utilizada en la industria cervecera y maltera; el 10 % se destina a los molinos de perlado y harina (consumo humano) y el 5 % es vendido como semilla para los productores (Vanegas *et al.*, 2018), *H. vulgare* es un cereal multipropósito que se puede utilizar para la alimentación animal (Karagöz *et al.*, 2017). De ahí que el objetivo del trabajo fue evaluar la adaptación y

rendimiento de forraje en accesiones de *H. vulgare* y *Triticum* sp. en el trópico alto de Nariño, Colombia.

Materiales y Métodos

Localización. El estudio se realizó entre octubre de 2019 y julio de 2020, en el centro de investigación Obonuco, propiedad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). La instalación está ubicada en el municipio de Pasto, Nariño, Colombia, a 2905 m.s.n.m. (1° 88' 918" N y 77° 306' 083" W).

Características edafoclimáticas. La precipitación promedio anual de la región es de 1 273 mm y la temperatura promedio de 13,8 °C. El origen de sus suelos es de ceniza volcánica y pertenecen al grupo textural franco arenoso (Climate-Data.org, 2018). En la figura 1 se muestra la precipitación registrada durante el periodo de estudio.

Diseño experimental y tratamientos. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Cada unidad experimental corresponde a un surco por cada material evaluado de 5 m de largo, con una distancia entre surcos de 0,5 m y entre plantas de 0,2 m, con una densidad de siembra de 25 semillas por surco. Se sembraron cuatro réplicas por tratamiento para un área total de 650 m². Se evaluó una accesión de avena (*Avena sativa* L.), 26 accesiones de *H. vulgare* (cebadas) y 23 de *Triticum* sp. (trigos) del Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura en custodia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia (tablas 1 y 2).

Procedimiento experimental. La preparación del terreno se hizo con dos pases de rastra y una de rastrillo. La fertilización se realizó de manera fraccionada en tres etapas de desarrollo del cultivo, empleando una dosis de 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹; 25 kg de K₂O ha⁻¹ y 50 kg de N ha⁻¹. Al momento de la siembra se aplicó el 40 % de NPK. A los 30 días de germinación se aplicó el 30 % de NPK y en la etapa de llenado de grano se aplicó el 30 % restante (tabla 3).

Variables evaluadas. La evaluación de las variables se realizó desde el periodo de emergencia hasta el estado de grano lechoso pastoso de la planta con una frecuencia de cada 15 días. Se seleccionaron tres plantas por cada surco a las cuales se les determinó: vigor en escala de 1 a 4, en la cual, 1 representó vigor bajo y 4 vigor alto (Toledo y Schultse-Kraft, 1982), altura de la planta (cm), número de tallos, número de hojas, porcentaje y rendimiento de materia seca (MS) kg ha⁻¹. De igual forma, se evaluó la incidencia de enfermedades visualmente en campo, teniendo en cuenta el porcentaje de incidencia (0 a 100 %) de la

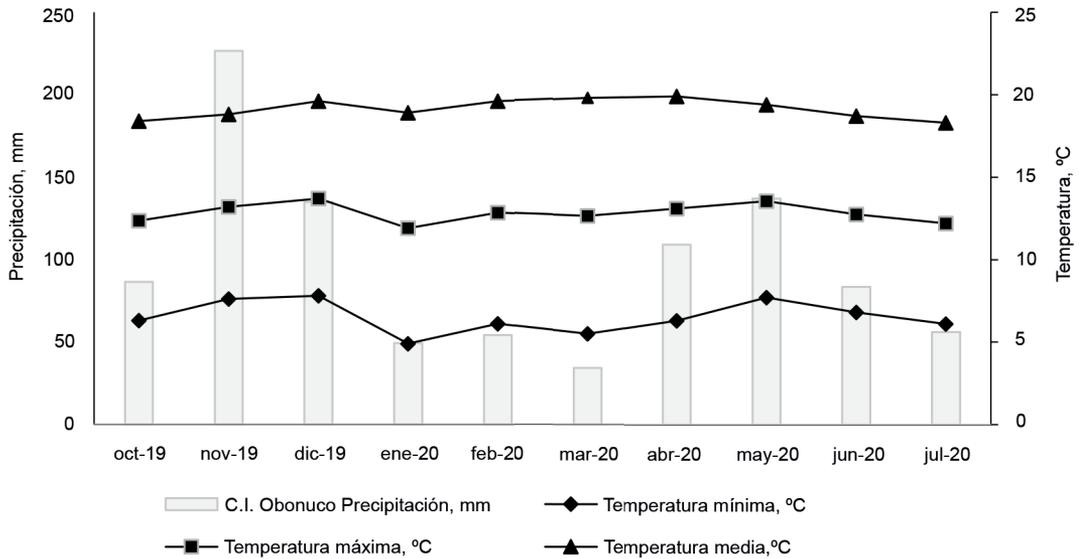


Figura 1. Precipitación acumulada durante el estudio

Fuente: Estación Vintage pro 2, ubicada en la estación de investigación C.I Obonuco de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Pasto, Colombia.

enfermedad en la parcela, así sea una sola mancha en cada hoja, severidad de enfermedades en una escala de 0 a 9 según ETH Zürich (2016), incidencia de plagas de 1 a 5, donde: uno corresponde a sin daño, dos a 1-10 % de las plantas afectadas (PA), tres a 11-25 % PA, cuatro a 26-40 % PA y cinco a más del 40 % de PA. Se determinó las deficiencias nutricionales según la metodología descrita por Hoyos *et al.* (1995).

Análisis estadístico multivariado. Se utilizaron técnicas de aprendizaje automático no supervisado como el análisis factorial mixto y clúster jerárquico sobre el análisis de componentes principales (ACP) según Kassambara (2017), acompañado de un análisis de agrupamiento jerárquico tipo clúster, empleando el método del algoritmo de Ward (Peña-Sánchez-de-Rivera, 2002). Para el desarrollo de los métodos estadísticos, se usaron las librerías FactoClass (Pardo *et al.*, 2018), Factoextra (Kassambara y Mundt, 2020), FactoMiner (Husson *et al.*, 2022), y dplyr (Wickham *et al.*, 2019) del software R v.3.6.0® (R Core Team, 2022). Para validar el análisis realizado se realizó un taller con un grupo de técnicos expertos en la producción de pastos y forrajes.

Resultados y Discusión

Análisis factorial de datos mixtos para accesiones de *H. vulgare*. Los resultados del ACP, determinó que los tres primeros componentes formados explican el 74,0 % de la varianza total, donde las dos primeras concentran el 57,8 % de la varianza total. Las variables con

mayor aporte a la componente uno fueron: altura (24,8 %), número de hojas (22,7 %), número de tallos (22,4 %) y % MS (16,5 %), se observa que la dimensión uno aporta información sobre parámetros de rendimiento; por otra parte, para la componente dos, las variables que más aportaron a la varianza fueron: severidad de enfermedades (30,5 %), vigor (27,0 %), MS(kg/ha) (16,5 %) y número de tallos (11,3 %), esta segunda, aporta información acerca del componente sanitario y de adaptación de las accesiones.

Determinación de clúster mediante agrupación jerárquica en componentes principales (HCPC). Para el desarrollo de este estudio, se obtuvieron tres clúster o grupos de accesiones de *H. vulgare*, como se observa en la tabla 4. El clúster número uno, agrupó el 11,1 % de los casos (3 accesiones); el clúster dos el 25,9 % (7 accesiones) y el tres el 63,0 % (17 accesiones).

Se procedió a ubicar en el mapa de factores cada una de las accesiones de *H. vulgare* (fig. 2) teniendo como base los tres clústeres identificados, se realizó un taller con técnicos expertos en la producción de cereales forrajeros para validar la pertinencia de los grupos clasificados según el modelo estadístico.

En grupo I se encuentran las accesiones con mayor producción de hojas y tallos, menor altura y producción de materia seca (MS), respecto a la media general. Este grupo está compuesto por el 11,1 % de las accesiones estudiadas. Teniendo en cuenta los resultados (Valor de P) del (tabla 5) el grupo se explica principalmente por las varia-

Tabla 2. Código de las accesiones de *H. vulgare*. Pasto - Nariño, Colombia. 2019-2020.

Especie	Código del SBGNAA	Código
<i>H. vulgare</i>	BOHATYR	C21
<i>H. vulgare</i>	BS 78-3-4	C1
<i>H. vulgare</i>	BS 90-9-1	C2
<i>H. vulgare</i>	BS 90-9-2	C3
<i>H. vulgare</i>	C-105	C22
<i>H. vulgare</i>	C-120	C23
<i>H. vulgare</i>	DINA	C10
<i>H. vulgare</i>	DONECHIJ 8	C6
<i>H. vulgare</i>	ENISEJ	C5
<i>H. vulgare</i>	GK58//RHN-03/LIGNEE640 ICBH94	C19
<i>H. vulgare</i>	GK58/3/KC/MULLERSHEYDLA//SL	C20
<i>H. vulgare</i>	ONSLOW	C7
<i>H. vulgare</i>	ORBIT	C8
<i>H. vulgare</i>	RADICAL/BIRGIT//ICB-100811ICBI	C18
<i>H. vulgare</i>	RISK	C11
<i>H. vulgare</i>	ROHO/MASURICA//ICB-103020/3/C	C17
<i>H. vulgare</i>	S.5	C24
<i>H. vulgare</i>	S.6	C25
<i>H. vulgare</i>	SSG-564	C26
<i>H. vulgare</i>	SVIT	C9
<i>H. vulgare</i>	TX01D254	C12
<i>H. vulgare</i>	TX01D265	C13
<i>H. vulgare</i>	TX01D274	C14
<i>H. vulgare</i>	TX01D282	C15
<i>H. vulgare</i>	TX01D313	C16
<i>H. vulgare</i>	ZERNOGRADSKIJ 73	C4

SBGNAA: Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia / SBGNAA: National Germplasm Banks system for Food and Agriculture. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia.

Tabla 3. Propiedades químicas del suelo del C.I Obonuco (Pasto – Nariño), Colombia. 2019.

pH	MO	P	Ca	Mg	K	CICE	B	Cu	Mn	Fe	Zn
	%	Mg/kg		Meq/100g					ppm		
5,68	3,48	55,31	8,16	1,3	1,29	10,83	0,33	3,8	7,4	385	2,8

Tabla 4. Formación de grupos mediante Agrupación jerárquica en Componentes principales.

Grupo	Cantidad de accesiones	%
I	3	11,1
II	7	25,9
III	17	63,0

Tabla 5. Principales características de los clústeres de accesiones de *H. vulgare*.

Variable	Eta2	Valor de P grupo general	Grupo					
			I		II		III	
			Media	DS	Media	DS	Media	DS
Altura	0,58	2,972485e-05	39,0	6,39	51,1	5,9	62,7	2,95
No. de hojas	0,52	1,245421e-04	123,0	12,02	93,1	15,8	65,0	12,81
No. de tallos	0,51	1,601402e-04	25,0	3,09	14,1	15,8	13,0	2,63
Materia seca, %	0,50	2,387569e-04	20,7	0,99	24,0	1,4	25,1	0,2
MS, kg/ha	0,37	3,372176e-03	4 263,9	729,3	4 799,7	602,4	5 775,8	451,3
Incidencia de plagas	-	0,0002150921	-	-	-	-	-	-
Deficiencias nutricionales	-	0,0002150921	-	-	-	-	-	-
Vigor	-	0,0157039006	-	-	-	-	-	-
Severidad de enfermedades	-	0,04781595	-	-	Sin afectaciones	-	-	-

DS: desviación estándar

Tabla 6. Distancias de las accesiones de *H. vulgare* que conforman el grupo I al centroide.

Accesión	Distancia
C7	2,093859
C22	2,822027
C1	3,966540

Tabla 7. Distancias de las accesiones de *H. vulgare* que conforman el grupo II al centroide.

Accesión	Distancia
C21	0,7956344
C11	0,9322600
C24	1,0001639
C10	1,2382056
C5	1,2854951

bles: no de hojas (1,245421e-04), número de tallos (1,601402e-04), altura (2,972485e-05) y porcentaje de materia seca (2,387569e-04).

Se conforma por un grupo de accesiones que tienen una producción promedio de 123 hojas, con 25 tallos con una altura promedio de 39,0 cm y un contenido de MS promedio de 20,7 %, estas dos últimas variables menores a la media general con 51,9 cm y 23,8 % de MS. En este grupo también se identifican los individuos más representativos donde el valor indica la distancia de cada individuo al centroide y el más cercano a este es la accesión más representativa, en este caso la accesión C7 como se observa en él (tabla 6).

En el clúster 2 se encuentran las accesiones con menor presencia de plagas y enfermedades, respecto

a la media general. Este grupo está compuesto por el 25,9 % de las accesiones estudiadas. Teniendo en cuenta los resultados (Valor - P) del (tabla 5) el grupo se explica principalmente por la variable: severidad de enfermedades (0,04781595). Se conforma por un grupo de accesiones que tienen una presencia de enfermedades casi nula, manteniéndose en la mayoría de las evaluaciones en la categoría “Sin afectaciones” con respecto al resto al grupo en general. En este grupo también se identifican los individuos más representativos donde el valor indica la distancia de cada individuo al centroide y el más cercano a este es la accesión más representativa, en este caso la accesión C21 como se observa en él (tabla 7).

En el grupo III se encuentran las accesiones con mayor altura y menor producción de hojas, respecto a la media general. Este grupo está compuesto por el 11,11 % de las accesiones estudiadas. Teniendo en cuenta los resultados (Valor - P) del (tabla 5) el grupo se explica principalmente por las variables: Altura (2,972485e-05), MS (3,372176e-03), número de tallos (1,601402e-04), y número de hojas (1,245421e-04).

Se conforma por un grupo de accesiones que tienen una altura promedio de 62,7 cm, una producción de MS de, 5775,8 kg/ha, con 13 tallos y 65 hojas, estas dos últimas variables menores a la media general con 19 y 92 hojas. En este grupo también se identifican los individuos más representativos donde el valor indica la distancia de cada individuo al centroide y el más cercano a este es la accesión más representativa, en este caso la accesión C14 como se observa en él (tabla 8).

Análisis factorial de datos mixtos para accesiones de Triticum sp. Los resultados del ACP, se

Tabla 8. Distancias de las accesiones de *H. vulgare* que conforman el grupo III al centroide.

Accesión	Distancia
C14	1,214368
C13	1,380174
C20	1,972331
C17	1,986747
A1	2,269299

Tabla 9. Formación de grupos mediante agrupación jerárquica en componentes principales.

Grupo	Cantidad de Accesiones	%
I	8	33,3
II	3	12,5
III	13	54,2

determinó que los tres primeros componentes formados explican el 73,7 % de la varianza total, donde las dimensiones uno y dos concentran el 57,7 % de la varianza total.

Las variables con mayor aporte a la dimensión uno fueron: número de hojas (28,4 %), número de tallos (21,5 %), incidencia de enfermedades (27,8 %) y % de MS(kg/ha) (16,8 %), se observa que la dimensión uno aporta información sobre parámetros de rendimiento; por otra parte, para la dimensión dos, las variables que más aportaron a la varianza fueron: severidad de enfermedades

(38,4 %), altura (21,2 %), incidencia de enfermedades (19,8 %) y número de tallos (10,1 %), esta segunda dimensión, aporta información acerca del componente sanitario y de adaptación de las accesiones, muy similar al de *H. vulgare*.

Determinación de clúster mediante agrupación jerárquica en componentes principales. Para el desarrollo de este estudio, se obtuvieron tres clúster o grupos de accesiones de trigo como se observa en la tabla 9; donde el clúster número uno, agrupó el 33,3 % de los casos (8 accesiones); el clúster dos, el 12,5 % (3 accesiones) y el tres, el 54,16 % (13 accesiones).

Se procedió a ubicar en el mapa de factores cada una de las accesiones de *Triticum* sp. (figura 3) teniendo como base los tres clústeres identificados.

En el grupo I, se encuentran las accesiones con menor producción de materia seca (MS), menor producción de tallos y número de hojas y baja incidencia de enfermedades respecto a la media general.

Este grupo está compuesto por el 33,3 % de las accesiones estudiadas. Teniendo en cuenta los resultados (Valor - P) del (tabla 10) el grupo se explica principalmente por las variables: % de MS (kg/ha) (0,0494306939), número de tallos (3,5214625e-02), incidencia de enfermedades (1,502783e-03) y número de hojas (8,59067e-04).

Se conforma por un grupo de accesiones que tienen una producción promedio de 48 hojas, con 11 tallos, incidencia de enfermedades con 0,5 % y un rendimiento promedio de MS (kg/ha) de 5404,40,

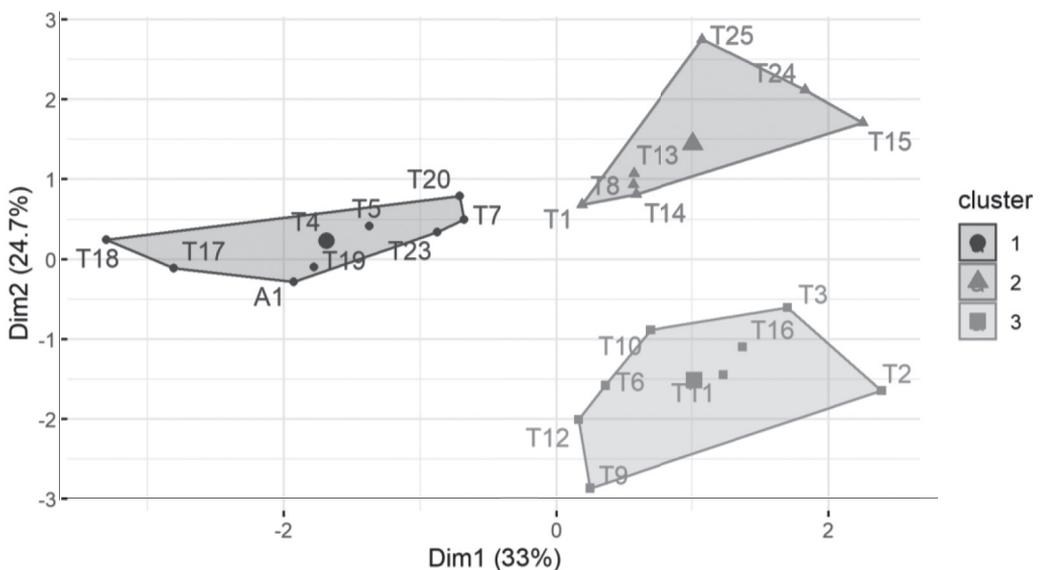


Figura 3. Mapa de factores por accesiones de *Triticum* sp. según agrupación de clúster Nariño, Colombia.

Tabla 10. Principales características de los clústeres de accesiones de *Triticum* sp.

Variable	Eta ²	Valor - P grupo general	Grupo					
			I		II		III	
			Media	DS	Media	DS	Media	DS
No. de hojas	0,59	8.59067e-04	48,0	3,49	57,0	2,2	54,3	3,8
Incidencia de enfermedades	0,57	1.502783e-03	0,5	0,49	1,1	0,4	2	0,99
No. de tallos	0,42	3.5214625e-02	11,0	1,36	13,0	1,04	12,1	1,1
Altura	0,30	0.0221380444	55,5	4,7	63,8	9,84	54,1	3,3
MS, kg/ha	0,25	0.0494306939	5 404.4	465,92	6 159,4	335,2	5 906,5	812,0
Severidad de enfermedades	-	6.144212 e-02	Daño leve	-	Daño leve	-	Sin afectaciones	-

DS: desviación estándar

Tabla 11. Distancias de las accesiones de *Triticum* sp. que conforman el grupo I al centroide.

Accesión	Distancia
T7	1,065886
T23	1,080796
T5	1,085776
T17	1,442485
T4	1,465869

Tienen una presencia de enfermedades baja manteniéndose en la mayoría de las evaluaciones en la categoría “Daño leve” con respecto al resto del grupo en general. Todas estas variables fueron menores a la media general, con 52 hojas, 12 tallos, 1,3 % de incidencia y 5 791,98 kg/ha. En este grupo también se identifican los individuos más representativos donde el valor indica la distancia de cada individuo al centroide y el más cercano a este es la accesión más representativa, en este caso la accesión T7 como se observa en él (tabla 11).

En el grupo II, se encuentran las accesiones con menor presencia de plagas y enfermedades, respecto a la media general. Este grupo está compuesto por el 12,5 % de las accesiones estudiadas. Teniendo en cuenta los resultados (Valor-P) del (tabla 10) el grupo se explica principalmente por las variables: número de tallos (0,005157876), número de hojas (0,008375520) y altura (0,008900737). Se conforma por un grupo de accesiones que tienen una producción promedio de 57 hojas, con 13 tallos y una altura de 57,5 cm, tienen una presencia de enfermedades baja, manteniéndose en la mayoría de las evaluaciones en la categoría “Daño leve” con respecto al resto al grupo en general. Todas estas variables fueron superiores a la media general con

Tabla 12. Distancias de las accesiones de *Triticum* sp. que conforman el grupo II al centroide.

Accesión	Distancia
T24	1,129461
T1	1,260890
T15	1,312432
T13	1,458076
T14	1,760321

52 hojas, 12 tallos y 57,5 cm. En este grupo también se identifican los individuos más representativos donde el valor indica la distancia de cada individuo al centroide y el más cercano a este es la accesión más representativa, en este caso la accesión T24 como se observa en él (tabla 12).

En el grupo III, se encuentran las accesiones con mayor altura y menor producción de hojas, respecto a la media general. Este grupo está compuesto por el 54,2 % de las accesiones estudiadas. Teniendo en cuenta los resultados (Valor-P) del (tabla 10) el grupo se explica principalmente por la variable: incidencia de enfermedades (1.502783e-03).

Se conforma por un grupo de accesiones que tienen una incidencia de enfermedades del 2 %, mayor con respecto a la media general de 1 %. Tienen una presencia de enfermedades baja, manteniéndose en la mayoría de las evaluaciones en la categoría “Sin afectaciones” con respecto al resto al grupo en general.

A. sativa, *H. vulgare* y *Triticum* sp. en este experimento se adaptaron a las condiciones ambientales y condiciones de manejo. Todas las accesiones lograron completar su ciclo de crecimiento hasta lograr la madurez, sin embargo, cabe mencionar que algunas accesiones de *H. vulgare* y *Triticum*

Tabla 13. Distancias de las accesiones de *Triticum* sp. que conforman el grupo III al centroide.

Accesión	Distancia
T10	1,443619
T12	1,524184
T3	1,541499
T11	1,671957
T2	1,709008

sp. fueron afectadas por el virus del enanismo amarillo de *H. vulgare* (Barley yellow dwarf virus – BYDV). Durante el desarrollo del experimento se pudo observar que las accesiones de *A. sativa* y *H. vulgare* presentaron mayor producción de hojas y tallos, una buena altura y mayor rendimiento de MS. Las accesiones de *Triticum* sp. presentaron mayor producción de hojas y tallos y rendimiento de MS (kg/ha), con una baja incidencia de enfermedades.

Morales-Sinchire *et al.* (2020) evaluaron *Triticum* sp. y *A. sativa* bajo dos sistemas de producción (forraje verde hidropónico y convencional a campo abierto) y determinaron una altura de *A. sativa* en el sistema convencional de 82,7 cm; mayor en comparación al promedio de 62,71 cm del presente estudio. Esto debido posiblemente a la diferencia de altura (m.s.n.m.) y temperatura (°C) entre los dos cultivos; que para el presente experimento fue de 2 905 m.s.n.m. y 13,8 °C respectivamente, comparado con el lugar donde se desarrolló el experimento de los autores citados que fue de 2 300 m.s.n.m. y 15 °C, lo que pudo favorecer el mejor desarrollo del cultivo.

Donaire *et al.* (2020) evaluaron 28 variedades de cereales de invierno para doble propósito (forraje y grano) incluyendo seis accesiones de *H. vulgare* forrajera, reportando alturas de 60 cm en *H. vulgare*, similares al promedio de altura (62,7 cm) reportado en el presente trabajo.

Por su parte, Contreras-Paco *et al.* (2020) evaluaron una variedad de *H. vulgare* en el trópico alto del Perú a diferentes altitudes (3 778 y 4 266 m.s.n.m.) y densidades de siembra (90, 100 y 110 kg/ha); encontrando valores inferiores (10 tallos por planta) a lo observado en este estudio (25 tallos por planta), influenciado posiblemente por las condiciones ambientales del presente estudio (2 905 m.s.n.m.), teniendo en cuenta que la densidad de siembra fue de 100 kg/ha para cada una de las especies. Al respecto, Soto-Carreño y Hernández-Córdova (2012), mencionan que el rendimiento de las especies de cereales forrajeras es el resultado

de la interacción de distintos recursos que tienen las plantas para su desarrollo. Las variables a las que se les atribuye un mayor efecto sobre el desarrollo de especies de cereales son las climáticas, de las cuales resaltan la temperatura, el fotoperiodo y la vernalización.

Los mismos autores reportan un promedio de MS de 25 %, superior al hallado en este estudio (20,7 %); lo que se puede relacionar con el establecimiento de las accesiones, las condiciones de suelo, la fertilización y la edad de corte; que para esta investigación se realizó a los 112 días de desarrollo, comparado con la edad de corte en la investigación realizada por los autores mencionados; que fue a los 130 días.

Algunas accesiones de *H. vulgare* y *A. sativa* presentaron producciones en promedio de MS de 5 775,8 kg/ha, resultado superior al reportado por Yepes-Chamorro (2013), quien evaluó el comportamiento agronómico de siete genotipos de *H. vulgare* forrajera en ocho localidades del Departamento de Nariño, reportando un valor promedio de 4 843,3 kg/ha de MS para *H. vulgare*.

Por su parte, Morales-Sinchire *et al.* (2020), encontraron rendimientos de 1,5 kg de MS/m² para *A. sativa* en campo abierto, superior al hallado en este experimento (0,577 kg de MS/m²), lo que puede estar relacionado con las condiciones climáticas y menor altura de la planta, que afectaron esta variable.

La producción de MS de algunos *Triticum* sp. se destacó por un promedio de 5 404,4 kg/ha, resultado superior al reportado por Álvarez-Romero (2017); quien evaluó dos variedades de *A. sativa*, dos de *H. vulgare*, una línea avanzada de triticale y dos variedades de *Triticum* sp. en el valle de Toluca, México, bajo el efecto de dos dosis de nitrógeno (60 y 120 kg de N/ha) y tres etapas fenológicas al corte (embuche, antesis y grano lechoso-masoso); encontrando valores de 2 933 y 2 433 kg/ha en las dos variedades de *Triticum* sp. Estos valores posiblemente estén influidos por la genética de las accesiones, el manejo y el medio ambiente donde se los estableció. Algunos aspectos favorables de *Triticum* sp. respecto a otros cereales que lo vuelven una alternativa para la producción de forraje en ciertas regiones como son: mayor resistencia al frío, resistencia genética a enfermedades de la hoja, excelente reacción al pastoreo y la buena calidad y cantidad de forraje producido a lo largo del ciclo de cultivo (Bainotti *et al.*, 2006).

En el presente trabajo se pudo evidenciar que el virus del enanismo amarillo de *H. vulgare* (Barley yellow dwarf virus – BYDV) difiere mucho entre

especies y accesiones, como su nombre lo indica afectó primordialmente a *H. vulgare* por ser más sensible (Agrointegra, 2017); con una concentración más alta en algunas accesiones que en otras, pero la resistencia de esta especie ante el virus demostró que el manejo adecuado de la misma podría prevenir la pérdida total del cultivo. Algunas accesiones de *Triticum* sp. presentaron afectaciones leves y otras no fueron afectadas. Algunos aspectos favorables del *Triticum* sp. respecto a otros cereales que lo vuelven una alternativa para la producción de forraje en ciertas regiones son: mayor resistencia al frío, resistencia genética a enfermedades de la hoja, excelente reacción al pastoreo y la buena calidad y cantidad de forraje producido a lo largo del ciclo de cultivo (Bainotti *et al.*, 2006).

Conclusiones

Los resultados de este experimento permiten reconocer materiales de *H. vulgare* y *Triticum* sp. con potencial para continuar en los programas de investigación y que pueden ser una alternativa para mitigar la estacionalidad forrajera y la baja calidad que se encuentra durante las estaciones secas del trópico alto Nariñense.

Agradecimientos

Se agradece a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia, por financiar esta investigación.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses entre ellos.

Contribución de los autores

- Filadelfo Hernández-Oviedo. Realizó la investigación, el procesamiento de los datos y la redacción del borrador original.
- Paola Andrea Portillo – López. Realizó la investigación, el procesamiento de los datos y la redacción del borrador original.
- Diego Hernán Meneses – Buitrago. Realizó la investigación, el procesamiento de los datos y la redacción del borrador original.
- Edwin Castro – Rincón. Realizó la conceptualización, elaboró la metodología y realizó la supervisión de la investigación.

Referencias bibliográficas

Aduviri, L. *Comportamiento agronómico de tres variedades de avena (Avena sativa L.) con aplicación de materia orgánica, en la Estación Experimental de Choquenaira*. Tesis de Licenciatura en Agronomía. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.

<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1166937?show=full>, 2014.

AGROIntegra. *Guía de protección integrada: cebada*. San Pablo, Brasil. https://www.agrointegra.eu/images/pdfs/GuadeProteccionIntegrada_CEBADA.pdf, 2017.

Álvarez-Romero, R. C. *Rendimiento y calidad del forraje de cuatro cereales de grano pequeño en tres etapas de crecimiento y dos niveles de nitrógeno en el valle de Toluca*. Tesis como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Fititecnista. Toluca, México: Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Universitario el Cerrillo, Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/71027>, 2017.

Arreaza, L. C. *Diseño de sistemas de alimentación con el uso de cultivos forrajeros como estrategia para afrontar la sequía y las heladas y mejorar la competitividad y la sostenibilidad de los sistemas de producción de leche del trópico alto*. Colombia: AGROSAVIA, 2012.

Bainotti, C.; Gómez, D.; Masiero, Beatriz; Salines, J.; Amigone, M.; Navarro, C. *et al. Evaluación de cultivares de trigo como doble propósito. Campaña 2005/06*. Argentina: INTA-EEA. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/35-trigo_doble_proposito.pdf, 2006.

Carulla, J. E. & Ortega, E. *Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades*. *Arch. latinoam. prod. anim.* 24 (2). https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2526/945, 2016.

Climate-Data.org. *Clima: Pasto, Cumbal y Sapuyes*. Oedheim, Alemania. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/narino-61/>, 2018.

Contreras-Paco, J. L.; Ramírez-Rivera, H.; Tunque-Quispe, M.; Aroni-Quintanilla, Yedy R.; Ruth, Quintanilla-Yedy, Ruth & Curasma-Cente, J. *Productive and nutritional aspects of forages oats and barley alone and consociated to vetch in high Andean conditions*. *MOJ Food Process Technols.* 8 (2):59-65, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2020.08.00243>.

Cuesta-Muñoz, P. A. *Nuevas especies forrajeras para mejorar la competitividad de los sistemas de producción de leche del altiplano de Nariño*. Pasto, Colombia: AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18646>, 2006.

Ding, S.; Oba, M.; Swift, M. L.; O'Donovan, J. T.; Edney, M. J.; McAllister, T. A. *et al. In vitro* gas production and dry matter digestibility of malting barley grain sown with different seeding and nitrogen fertilization rates in Canada. *Anim. Feed Sci. Technol.* 199:146-151, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.11.014>.

Donaire, G. M.; Bainotti, C. T.; Reartes, F.; Frascina, J. A.; Alberione, E. J.; Gomez, D. T. *et al.*

Evaluación de cultivares de cereales de invierno para doble propósito (forraje y grano) en INTA EEA Marcos Juárez. Campaña agrícola 2019. Argentina: INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mj_cerealesinviernodobleprop19act20.pdf, 2020.

- ETH Zürich. *Identification of novel rice blast resistance sources.* Switzerland: Institute of Molecular Plant Biology, 2016.
- FAO. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos.* Roma: FAO. <https://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>, 2019.
- FENALCE. *Indicadores cerealistas 2020B.* Cundinamarca, Colombia: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. <https://www.fenalce.org/archivos/indicerealista2020B.pdf>, 2020.
- Gerber, P. J.; Steinfeld, H.; Henderson, B.; Mottet, A.; Opio, C.; Dijkman, J. *et al. Tackling climate change through livestock-A global assessment of emissions and mitigation opportunities.* Rome: FAO. <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>, 2013.
- Hoyos, P.; Gareía, O. & Torres, M. I. *Manejo y utilización de pasturas en suelos ácidos de Colombia.* Cali, Colombia: CIAT. Capacitación en tecnología de producción de pastos. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/SB197.E8V.4_Capacitaci%C3%B3n_en_tecnolog%C3%ADa_de_producci%C3%B3n_de_pastos.pdf, 1995.
- Husson, F.; Josse, Julie; Le, S. & Mazet, J. *FactoMineR: Multivariate exploratory data analysis and data mining.* 2.6. <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/index.html>, 2022.
- Karagöz, A.; Özbek, K.; Akar, T.; Ergün, N.; Aydoğan, S. & Sayim, İ. Agro-morphological variation among an ancient world barley collection. *J. Agric. Sci.* 23:444-452, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15832/ankutbd.385860>.
- Kassambara, A. *Practical guide to principal component methods in R (multivariate analysis): STHDA.* <http://www.sthda.com/>, 2017.
- Kassambara, A. & Mundt, F. *factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses.* Version 1.0.7. <http://www.sthda.com/english/rpkgs/factoextra>, 2020.
- Lahouar, Lamia; Ghrairi, Fatma; El Arem, Amira; Medimagh, Sana; El Felah, M.; Ben Salem, H. *et al.* Biochemical composition and nutritional evaluation of barley rihane (*Hordeum vulgare* L.). *Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med.* 14 (1):310-317, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21010/ajtcam.v14i1.33>.
- Mella-Fuentes, Claudia. *Suplementación de vacas lecheras de alta producción a pastoreo II.* https://www.uchile.cl/documentos/suplementacion-de-vacas-lecheras-de-alta-produccion-a-pastoreo-a-pasto-reo-ii_58311_9_5339.pdf, 2005.
- Morales-Sinchire, Dayana B.; Jiménez-Álvarez, Leticia S.; Burneo-Valdivieso, J. I. & Capa-Mora, E. D. Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria.* 21 (3):e1386, 2020. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386.
- Pardo, C. E.; Campo, P. C. del; Torres, C. J.; Diaz, I.; Sadinle, M. & Medina, J. *Combination of factorial methods and cluster analysis.* 1.2.7. Vienna: Comprehensive R Archive Network. <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoClass/FactoClass.pdf>, 2018.
- Peña-Sánchez-de-Rivera, D. *Análisis de datos multivariantes.* Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, 2002.
- R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing.* Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>, 2022.
- Soto-Carreño, F. & Hernández-Córdova, Naivy. Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench var. ISIAP DORADO). *Cultivos Tropicales.* 33 (2):50-55. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362012000200007&lng=es&tlng=es, 2012.
- Toledo, J. M. & Schultse-Kraft, R. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: J. M. Toledo, ed. *Manual para la evaluación agronómica.* Serie CIAT 07sG-1. Cali, Colombia: CIAT. p. 91-110, 1982.
- Vanegas, H.; Sierra, H.; Duarte, C.; Vargas, H. & Mantilla, H. C. Coyuntura cerealista y de leguminosas. *El Cerealista.* 126 (59):43-47. https://www.fenalce.org/alfa/dat_particular/pdf/pre_62630_q_Cer126.pdf, 2018.
- Wickham, H.; François, R.; Henry, L. & Müller, K. *dplyr: A Grammar of data manipulation.* 1.0.10. San Francisco, USA: GitHub, Inc. <https://github.com/tidyverse/dplyr>, 2019.
- Yepes-Chamorro, D. B. *Selección de nuevos genotipos de avena (Avena sativa L.) y cebada (Hordeum vulgare L.) forrajeras en la región natural andina del sur de Colombia.* Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar el título de Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en producción de cultivos. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/2409/1/89543.pdf>, 2013.