



## Evaluación agronómica y nutricional de genotipos de *Chloris gayana* para la ganadería Colombiana<sup>1</sup>

### Agronomic and nutritional evaluation of genotypes of *Chloris gayana* for the Colombian livestock

Julián Roberto Mejía-Salazar<sup>2</sup>, David Felipe Nieto-Sierra<sup>3</sup>, Sergio Luis Mejía-Kerguelen<sup>4</sup>, Miguel Arango<sup>5</sup>, Esteban Burbano-Erazo<sup>6</sup>, Iván De Jesús Higueta-Corrales<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Recepción: 13 de octubre, 2020. Aceptación: 14 de enero, 2021. Este trabajo hizo parte del proyecto “Evaluación multilocal de nuevo Germoplasma Forrajero”, llevado a cabo en el Centro de Investigación El Nus por la alianza estratégica entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia.

<sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación, Nataima, Espinal, Tolima, Colombia. [jmejia@agrosavia.co](mailto:jmejia@agrosavia.co), [julianmejia58@gmail.com](mailto:julianmejia58@gmail.com) (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0003-0613-4504>).

<sup>3</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación el Nus, San Roque, San José del Nus, Antioquia. [dnieto@agrosavia.co](mailto:dnieto@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0003-4808-1201>).

<sup>4</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de investigación Turipana, Montería, Córdoba, Colombia. [smejia@agrosavia.co](mailto:smejia@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0003-2498-756X>).

<sup>5</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación la Libertad, Villavicencio, Meta, Colombia. [marangoa@agrosavia.co](mailto:marangoa@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0002-1041-072X>).

<sup>6</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Motilonia, Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. [eburbano@agrosavia.co](mailto:eburbano@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0001-5056-9893>).

<sup>7</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación el Nus, San Roque, San José del Nus, Antioquia. [ihigueta@agrosavia.co](mailto:ihigueta@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0002-8339-9410>).

## Resumen

**Introducción.** Los forrajes de pastoreo son la principal fuente alimenticia del ganado. La variación climática reta a los productores a mantener una oferta constante de alimento, por lo que es necesario explorar otras alternativas forrajeras. **Objetivo.** Evaluar el comportamiento de veinte genotipos de *Chloris gayana* para explotaciones ganaderas. **Materiales y métodos.** El trabajo se desarrolló en el Centro de Investigación El Nus de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), San José del Nus, Antioquia, Colombia. Se empleó un diseño de bloques completos al azar, tres repeticiones y veinte tratamientos (genotipos *Chloris gayana*). En el análisis se utilizó un modelo mixto medidas repetidas en el tiempo, con el procedimiento GLIMMIX, cuyo efecto tiempo lo representó edad de corte. Las frecuencias de corte utilizadas fueron 21, 28, 35 y 42 días, entre agosto 2017 y octubre 2019 en época de baja y alta precipitación. Se evaluó vigor, cobertura de la especie, altura de planta, incidencia de plagas y patógenos, floración, rendimiento de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro y ácido (FDN, FDA), lignina (LIG), digestibilidad (DIG), hemicelulosa (HEM) y energía neta de lactancia (EN<sub>L</sub>). **Resultados.** Los caracteres que aportaron mayor variabilidad fueron MS, PC, FDN, FDA y DIG, se observó una asociación entre DIG, HEM y EN<sub>L</sub>. Se presentaron diferencias entre épocas y entre genotipos para la mayoría de las variables, a excepción de PC. La lignina fue la única que presentó diferencia en la triple interacción (genotipo\*época\*días de corte). La interacción genotipo\*época mostró diferencias para FDA y LIG. El genotipo 13103 obtuvo el mayor rendimiento de MS (3032,2 kg MS ha<sup>-1</sup>). La *B. Decumbens* presentó el menor contenido de FDA y LIG, pero la mayor digestibilidad.



**Conclusiones.** Los genotipos experimentales presentaron características de productividad y nutricionales similares e incluso mejores que los testigos.

**Palabras claves:** espectroscopia infrarroja, materia seca, proteína cruda, digestibilidad, rendimiento.

## Abstract

**Introduction.** Grazing forages are the main feed source for livestock. Climatic variation challenges producers to maintain a constant supply of food, so it is necessary to explore other forage alternatives. **Objective.** To evaluate the performance of twenty genotypes of *Chloris gayana* for livestock farms. **Materials and methods.** The work was carried out at the El Nus Research Center of the Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), San José del Nus, Antioquia, Colombia. A randomized complete block design, three repetitions, and twenty treatments (*Chloris gayana* genotypes) was used. The analysis used a mixed model repeated measures over time, with the GLIMMIX procedure, whose time effect was represented by cut-off age. The cutting frequencies used were 21, 28, 35, and 42 days, between August 2017 and October 2019 in low and high rainfall seasons. Vigor, species cover, plant height, pests, and pathogen incidence, flowering, dry matter yield (MS), crude protein (PC), fiber in neutral and acid detergent (FDN, FDA), lignin (LIG), digestibility (DIG), hemicellulose (HEM), and net lactation energy (EN<sub>L</sub>) were evaluated. **Results.** The characters that contributed the greatest variability corresponded to MS, PC, FDN, FDA, and DIG; an association was observed between DIG, HEM, and EN<sub>L</sub>. There were differences between seasons and between genotypes for most of the variables, except for PC. Lignin was the only variable that showed a difference in the triple interaction (genotype\*season\*cutting days). The genotype\*season interaction showed differences for FDA and LIG. Genotype 13103 obtained the highest MS yield (3032.2 kg DM ha<sup>-1</sup>). *B. decumbens* had the lowest content of FDA and LIG; but the highest of digestibility. **Conclusions.** The experimental genotypes presented similar or even better productivity and nutritional characteristics than the controls.

**Keywords:** infrared spectroscopy, dry matter, crude protein, digestibility, yield.

## Introducción

La ganadería bovina es la actividad económica con mayor presencia en el campo colombiano, se encuentra en diferentes pisos térmicos, en varias escalas de producción y presenta diversas especialidades (cría, levante, ceba, lechería especializada y doble propósito); esta actividad genera alrededor de 810 mil empleos directos que representan el 6 % del empleo nacional y el 19 % del empleo agropecuario (Federación Colombiana de Ganaderos, 2018).

La mayoría de las ganaderías bovinas fundamentan su producción en el uso de pasturas, debido a que es el recurso de nutrientes más barato para alimentar los bovinos (Federación Colombiana de Ganaderos, 2011).

La ganadería bovina ha sido cuestionada fuertemente por su desempeño productivo y por su impacto ambiental (Mahecha & Gallego, 2002), sin embargo, estos sistemas productivos se ven sometidos a condiciones climáticas adversas por la condición de trópico y distribución de lluvias que se presentan en el país; cerca del 70 % del total de pasto del año se produce en la época de mayores precipitaciones, mientras que en época con menor precipitación solo se obtiene el 30 %, lo que trae como consecuencia pérdidas marcadas en la producción animal (Betancourt et al., 2012; Litalien et al., 2009; Osorio et al., 2011). Se debe considerar, además, que la mayoría de las pasturas son de reducida calidad nutritiva, debido principalmente a sus características genéticas y al manejo deficiente de las praderas, en relación a los tiempos de uso, descanso, manejos, y renovación de praderas (Anzola et al., 2014).

Esto conlleva a que los productores acudan permanentemente al uso de suplementos, incrementando los costos de producción (Federación Colombiana de Ganaderos, 2011). Por esta razón, es importante explorar nuevas alternativas genéticas de especies forrajeras adaptadas a condiciones extremas de lluvia y sequía, que contribuyan a mejorar la oferta de alimento de buena calidad con el fin de disminuir los costos (Trujillo, 2009).

Es importante conocer la gran variedad de recursos disponibles (Federación Colombiana de Ganaderos, 2011) para minimizar la creciente vulnerabilidad de la ganadería bovina como consecuencia del cambio climático y deficientes prácticas de manejo, por esto, se deben generar de manera permanente materiales forrajeros con tolerancia a enfermedades, alta rusticidad y buena adaptación, que puedan contribuir a mejorar la producción en diferentes zonas del país en los sistemas ganaderos.

Existen las gramíneas megatérmicas o plantas C4, altamente eficientes, con amplia adaptación y alta persistencia, originarias de África tropical y subtropical (Calello, 2011; León, 2010), dentro de las cuales se destacan las especies *Chloris gayana*, con capacidad de adaptación al drástico impacto climático causado sobre la ganadería y su efecto sobre los ecosistemas, sin disminución radical de la oferta alimenticia en periodos críticos tanto de déficit como de exceso de humedad (Imaz et al., 2015). *C. gayana* es una de las especies que presenta alta plasticidad y buena adaptación a condiciones variadas de pH, salinidad, periodos prolongados de sequía, inundación y niveles freáticos superficiales (Oprandi et al., 2009). El grado de adaptación a condiciones edafoclimáticas contrastantes de estas especies, depende del grado de ploidía, las tetraploides tienen mayor demanda de condiciones edafoclimáticas óptimas, a diferencia de las diploides que presentan mayor adaptación a condiciones de suelos menos fértiles y mayor tolerancia a la salinidad por presentar varios ciclos de floración (Chiacchiera, 2017; Oprandi et al., 2009).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de veinte genotipos de *Chloris gayana* para explotaciones ganaderas.

## Materiales y métodos

### Localización

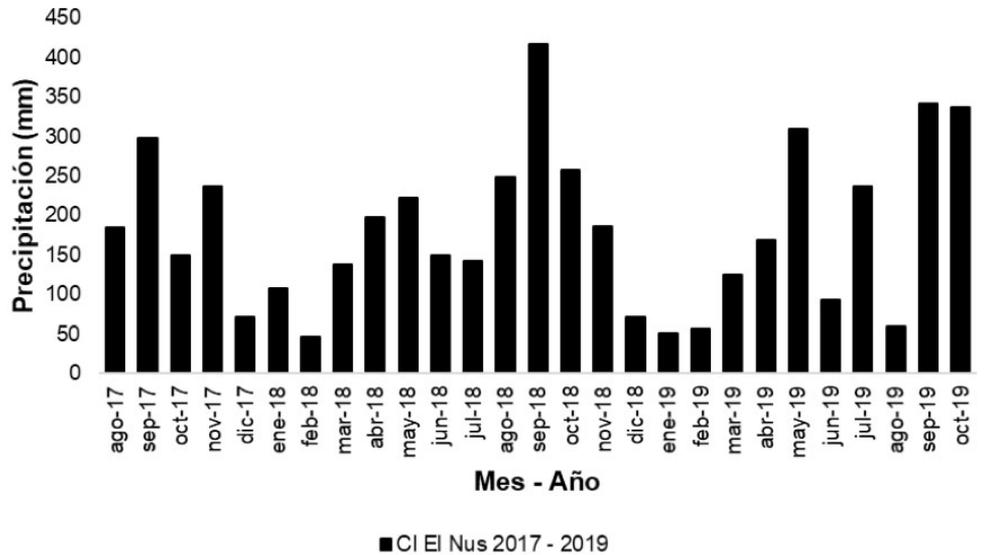
Este trabajo se llevó a cabo entre agosto 2017 y octubre 2019, en el Centro de Investigación el Nus de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), corregimiento San José del Nus, municipio de San Roque, Antioquia, Colombia, con una altura de 830 msnm, con una temperatura 24 °C y precipitación promedio anual entre 2000 y 2300 mm, clasificado en una zona de vida bosque muy húmedo premontano (Serrano & Calderón, 2016). La precipitación acumulada presentada en el periodo de estudio se presenta en la Figura 1

### Genotipos evaluados

Los veinte genotipos de *Chloris gayana* evaluados en este trabajo fueron suministrados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con previa selección por parte de los investigadores de la institución en Palmira, Valle del Cauca, Colombia, los cuales se describen en el Cuadro 1. Se empleó *Brachiaria Decumbens* (Decum) y *Brachiaria Brizantha cv. Marandu* (Brizan) como testigos comerciales.

### Manejo agronómico

Antes de la siembra de los genotipos se aplicó cal dolomita (1 t ha<sup>-1</sup>), seguidamente el suelo se mecanizó con cincel rígido en forma cruzada a una profundidad de 40 cm. Se realizó una fertilización inicial y de mantenimiento,



**Figura 1.** Precipitación acumulada de agosto 2017 a octubre 2019, Estación Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM - 23085080), San Roque, Colombia

**Figure 1.** Accumulated precipitation from August 2017 to October 2019, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM - 23085080) San Roque, Colombia

**Cuadro 1.** Genotipos de *Chloris gayana* evaluados en el Centro de Investigación El Nus de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), municipio de San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

**Table 1.** Genotypes of *Chloris gayana* evaluated at the El Nus Research Center of the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), municipality of San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

Genotipos <i>Chloris gayana</i> y testigos comerciales de la zona de estudio										
645	981	1053	6627	6631	6633	7384	7757	10097	10225	13053
13072	13097	13103	13175	13329	13330	15570	15573	18498	*Decum	**Brizan

\**Brachiaria Decumbens*, \*\**Brachiaria Brizantha* cv Marandu.

se añadió al suelo los elementos mayores (N-P-K) y elementos menores necesarios según análisis de suelos (Cuadro 2). No se realizó ningún tipo de manejo de plagas y patógenos, porque uno de los propósitos fue evaluar el comportamiento productivo y adaptación. Se realizaron controles mecánicos y manuales de arvenses y plantas atípicas para garantizar un buen desarrollo de los genotipos establecidos.

## VARIABLES MEDIDAS

Para evaluar el comportamiento agronómico y productivo, se adaptó la metodología de Toledo & Schultze (1982). Las evaluaciones se realizaron durante dos años (2018 y 2019), en época de baja y alta precipitación, con frecuencias de corte a los 21, 28, 35 y 42 días de rebrote. La época de baja precipitación se denominó Seca\_1 y Seca\_2 (agosto 2018 y enero – febrero 2019, respectivamente), la época de alta precipitación se denominó Humeda\_1 y Humeda\_2 (octubre 2018 y octubre – noviembre 2019).

**Cuadro 2.** Análisis de suelos para lote en el que se estableció el ensayo de la especie *Chloris gayana* ubicado en el Centro de Investigación El Nus de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), municipio de San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

**Table 2.** Soil analysis for the lot in which the test of the *Chloris gayana* species was established, located at the El Nus Research Center of the Colombian Corporation for Agricultural Research (AGROSAVIA), municipality of San Roque, Antioquia, Colombia, 2017- 2019.

Determinación analítica	Unidad	Valor
pH (1:2,5)	Unidades de pH	5,05
Conductividad eléctrica (CE)	dS m <sup>-1</sup>	0,11
Materia Orgánica (MO)	g 100 g <sup>-1</sup>	2,55
Fosforo (P)	mg kg <sup>-1</sup>	<3,87
Azufre (S)	mg kg <sup>-1</sup>	4,27
Capacidad Intercambio Catiónico (CICE)	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	3,22
Boro (B)	mg kg <sup>-1</sup>	0,12
Acidez (Al+H)	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	0,96
Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	0,61
Calcio (Ca)	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	1,38
Magnesio (Mg)	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	0,62
Potasio (K)	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	0,14
Sodio (Na)	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	<0,14
Hierro (Fe)	mg kg <sup>-1</sup>	233,25
Cobre (Cu)	mg kg <sup>-1</sup>	<1,00
Manganeso (Mn)	mg kg <sup>-1</sup>	5,26
Zinc (Zn)	mg kg <sup>-1</sup>	<1,00

### VARIABLES AGRONÓMICAS DE ADAPTACIÓN

**Vigor:** es la fuerza y la vitalidad como se desarrollan las plantas en cada unidad experimental, se empleó una escala de 1 a 5, siendo 1 vigor malo, y 5 excelente.

**Cobertura:** es la proporción aparente en que cada genotipo cubre el área del cuadro aforador (área de 0,25 m<sup>2</sup>). Esta evaluación se realizó en las diferentes frecuencias de corte (21, 28, 35 y 42 días), en el área en la cual se cosechó el forraje verde (Toledo & Schultze, 1982).

**Altura de la planta (cm):** se registró la altura en cinco puntos (plantas) al azar en cada unidad experimental. Se midió desde el suelo hasta el punto más alto de la planta, en su normal crecimiento y sin contar la inflorescencia (Toledo & Schultze, 1982).

**Enfermedades:** es la incidencia de enfermedades en cada unidad experimental, de acuerdo con una escala de 1 a 4, siendo 1 sin afecciones y 4 severamente afectado (Lenné, 1982) (Cuadro 3).

**Plagas:** es la incidencia de plagas en cada unidad experimental, de acuerdo con una escala de 1 a 4, siendo 1 presencia del insecto y 4 daño grave (Calderón, 1982) (Cuadro 3).

**Floración:** proporción aparente porcentual de antesis floral de manera apreciable en la unidad experimental (UE).

**Cuadro 3.** Escala de nivel de daño de plagas y enfermedades en especies forrajeras evaluadas.

**Table 3.** Scale of damage level of pests and diseases in evaluated forage species.

Nivel de daño	Plagas	Enfermedades
1	Presencia de algunos insectos, la parcela no presenta áreas foliares consumidas	5 % de plantas afectadas
2	Daño leve: 1 a 10 % de follaje consumido	5 a 20 % de plantas afectadas
3	Daño moderado: 11 a 20 % de follaje consumido	20 a 40 % de plantas afectadas
4	Ataque grave: más de 20 % de follaje consumido	Mas de 40 % de plantas afectadas

Fuente/Source: (Toledo, 1982).

### Variabes productivas

**Rendimiento de materia seca (kg ha<sup>-1</sup>):** la producción de masa forrajera se expresó en kilogramos de materia seca por hectárea (kg de MS ha<sup>-1</sup>); para su cálculo se ubicó un marco de 0,25 m<sup>2</sup> (0,5 m x 0,5 m) en el cuadrante correspondiente a la edad de rebrote evaluada (sin incluir los bordes), y se cortó el forraje verde contenido en este a una altura de 15 cm. La muestra cortada se pesó inmediatamente, luego se obtuvo una submuestra de 200 g para secarla en estufa, a una temperatura de 60 °C durante 72 h. La submuestra seca se pesó en una balanza de precisión para determinar la proporción de materia seca (Salinas, 1982).

**Calidad nutricional:** después de obtener el porcentaje de materia seca, las submuestras. Se molieron y enviaron al laboratorio de nutrición animal ubicado en el Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA, Mosquera, Colombia, donde se realizó el análisis bromatológico mediante la técnica de espectroscopia de reflectancia en infrarrojo cercano NIRS (Ariza-Nieto et al., 2018), con el equipo NIRS DS 2500 - FOSS Analytical A/S – Dinamarca, teniendo en cuenta los métodos de referencia. Se determinó el contenido de proteína cruda (PC) (AOAC984.13), fibra en detergente neutro (FDN) (AOAC2002.04), fibra en detergente ácido (FDA) (AOAC973.18), lignina (LIG) (se determinó a partir del residuo insoluble del detergente ácido tratado con ácido sulfúrico 12 M), digestibilidad (DIG), hemicelulosa (HEM) (diferencia entre FDA y FDN) y energía neta de lactancia (EN<sub>L</sub>) (mediante calibración de las ecuaciones elaboradas por el laboratorio para estas especies, las cuales no presentaban referencia anterior).

### Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde los efectos fijos fueron las épocas, genotipos y la edad de corte, y los bloques como efectos aleatorios. La parcela principal fue de 9 m<sup>2</sup>, la distancia entre plantas de 0,5 m y entre parcelas de 1 m.

Se realizó un análisis exploratorio de todas las variables, mediante un análisis de componentes principales (ACP) con la función ade4 (Dray & Dufour, 2007) de R (R Core Team, 2019).

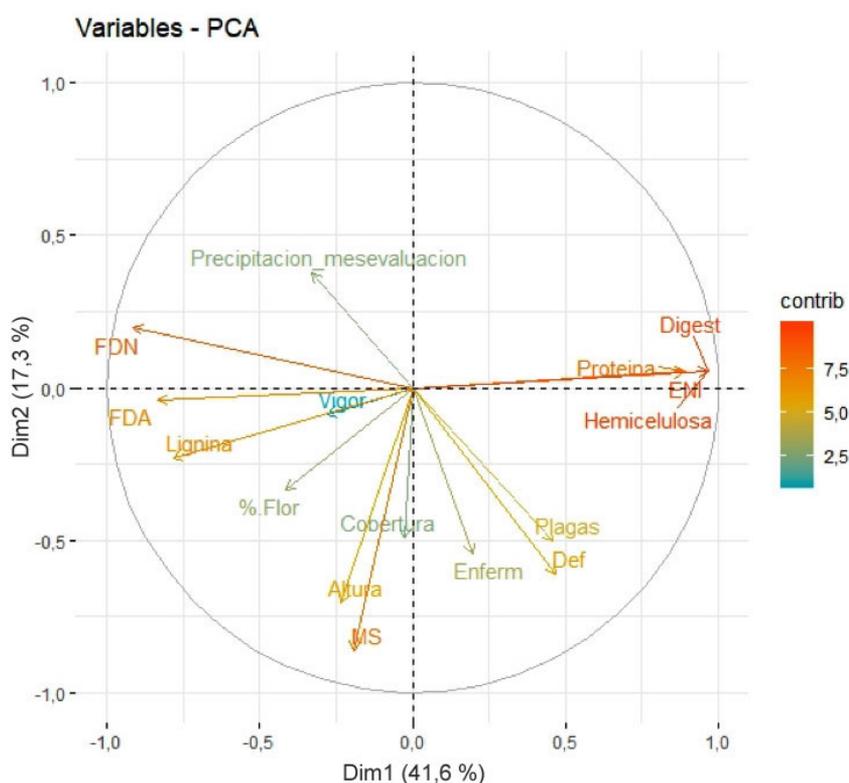
Las variables rendimiento de MS, PC, FDA, FND, LIG y DIG, se analizaron mediante un modelo mixto de medidas repetidas en el tiempo (Littell et al., 2006) usando el procedimiento GLIMMIX de SAS 9.4 (Statistical Analysis Systems, 2016), cuyo efecto del tiempo lo representó la variable edad de corte (Ecuación 1). La separación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5 % (Alpha=0,05).

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (1)$$

Donde  $Y_{ijkl}$  hace referencia a la media estimada del modelo estadístico por cada  $i$  época,  $j$  genotipos,  $k$  edad de corte, y  $l$  bloque;  $\mu$  es la media global de una variable dada,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  hacen referencia al efecto de la época, genotipos y edad de corte;  $\alpha\beta$ ,  $\alpha\gamma$ ,  $\beta\gamma$  y  $\alpha\beta\gamma$  se refieren a las interacciones de los factores principales y  $\varepsilon$  es el error experimental que se determinó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y graficas de residuos vs. predichos distribución normal y varianzas homogéneas, respectivamente.

## Resultados

El análisis de componentes principales (PCA) explicó un 58,9 % de la variabilidad total, con la contribución relativa para PC1 y PC2 del 41,6 y 17,3 %, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Análisis de componentes principales PCA para las variables evaluadas sobre el comportamiento de veinte genotipos de *Chloris gayana* con relación a los testigos comerciales. Centro de Investigación El Nus de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), municipio de San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

**Figure 2.** Principal components Analysis PCA for the different variables evaluated on the behavior of twenty genotypes of *Chloris gayana* species in relation to the commercial controls. The NUS Research Center, Colombian Agricultural Research Corporation (AGROSAVIA), Municipality of San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

Para el caso de la contribución relativa de cada una de las variables evaluadas en los dos componentes principales se observaron tres grupos bien determinados, el primero integró las variables digestibilidad (DIG), hemicelulosa (HEM), energía metabolizable (EMI) y proteína cruda (PC), con alta contribución (54 %) y

correlación entre ellas perteneciente al primer componente principal (PC1). Un segundo grupo conformado por las variables fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y lignina (LIG) con una contribución del 32 % al PC1. Finalmente, un tercer grupo conformado por la productividad de materia seca (MS) y la altura en centímetros (Altura), cuya contribución fue del 44 % para PC2%. Para las demás variables analizadas como fue el caso del porcentaje de floración (%Flor), enfermedades observadas (Enfer), cobertura de los forrajes (Cobertura), precipitación (Precipitación\_mesevaluación) su contribución fue del 29 % para el PC2. En el caso de vigor de planta, su contribución fue inferior al 2 % para el componente 1 y 2, con lo cual su aporte e influencia fue mínima sobre el total de la variabilidad observada. La altura (Altura) de la planta estuvo altamente correlacionado con la cantidad de materia seca (MS) producida.

Para la fuente de variación genotipo, se encontraron diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) para las variables FDN, FDA, y LIG, a su vez para la MS y DIG se observó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Para la fuente de variación época se encontraron diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) para la totalidad de las variables evaluadas. La interacción de genotipo por época fue significativa ( $p < 0,05$ ) para el contenido de FDA y LIG. Lo anterior señala, que para los genotipos de *Chloris gayana* existieron respuestas diferentes dependiendo de la época. La variable LIG presentó significancia ( $p < 0,05$ ) para la triple interacción entre genotipo, época y los días a corte (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Significancia estadística para las diferentes fuentes de variación sobre las variables productivas evaluadas en veinte genotipos de *Chloris gayana* y dos testigos comerciales en el Centro de Investigación El Nus, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), municipio de San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

**Table 4.** Statistical significance for the different sources of variation on the productive variables evaluated in twenty genotypes of *Chloris gayana* and two commercial witnesses at the El Nus Research Center, of the Colombian Corporation for Agricultural Research (AGROSAVIA), municipality of San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

FV	MS (kg ha <sup>-1</sup> )	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	LIG (%)	DIG (%)
Genotipo	<0,0331*	0,6511	0,0009**	<0,0001**	<0,0001**	0,0349*
Época	<0,0001**	<0,0017**	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**	0,0006**
Genotipo*Época	0,7922	0,7600	0,2135	0,0206*	0,0219*	0,5288
Genotipo *Época *Días de corte	0,8371	0,1105	0,3047	0,3103	0,0234*	0,1464

\* Significancia estadística con  $p \leq 0,01$ . \*\*Significancia estadística con  $p \leq 0,05$ . Rendimiento de materia seca (MS kg ha<sup>-1</sup>), contenido de proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), lignina (LIG) y digestibilidad (DIG). / \* Statistically significance with  $p < 0,01$ . \*\* Statistically significance with  $p < 0,05$ . dry matter yield (MS kg ha<sup>-1</sup>), crude protein content (PC), neutral detergent fiber (FDN), acid detergent fiber (FDA), lignin (LIG) and digestibility (DIG).

El genotipo 13103 mostró el mayor rendimiento de MS y fue estadísticamente diferente al genotipo 13097, el cual presentó el menor rendimiento (3032,2 y 2211,0 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). El genotipo 7384 presentó el mayor contenido de FDN y FDA con valores de 65,1 % y 36,7%, respectivamente. El genotipo 981 presentó el mayor contenido de LIG (8,0 %). El testigo *B. decumbens* presentó los menores contenidos de FDN, FDA y LIG (63,5 %, 34,6 % y 7,0 %, respectivamente). El porcentaje de DIG fue mayor en el testigo *B. decumbens* y menor en el genotipo 981 (57,3 % y 56,1 %, respectivamente) (Cuadro 5).

En la Cuadro 6 se observan diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) en todas las variables evaluadas, para las cuatro épocas en las que se realizaron las evaluaciones. Las épocas de baja precipitación (Seca\_1 y Seca\_2) presentaron mayor rendimiento de MS y contenido de PC en comparación a las épocas de alta

**Cuadro 5.** Promedio de rendimiento de materia seca (MS kg ha<sup>-1</sup>), contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (LIG) y digestibilidad (DIG) de veinte genotipos de *Chloris gayana* y dos testigos comerciales en el Centro de Investigación El Nus de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), municipio de San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

**Table 5.** Average dry matter yield (MS kg ha<sup>-1</sup>), crude protein content (PC), neutral detergent fiber (FDN), acid detergent fiber (FDA), lignin (LIG), and digestibility (DIG) of twenty *Chloris gayana* genotypes and two commercial controls at the El Nus Research Center of the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), municipality of San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

Variedad	MS (kg ha <sup>-1</sup> )	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	LIG (%)	DIG (%)
645	2700,1ab	10,7	64,2ab	35,9a	7,7a	56,5ab
981	2644,5ab	10,2	64,9a	36,5a	8,0a	56,1b
1053	2761,8ab	10,5	64,7ab	36,4a	7,8a	56,4ab
6627	2314,3ab	10,9	64,3ab	36,2a	7,7ab	56,8ab
6631	2536,8ab	10,4	65,1a	36,3a	7,9a	56,4ab
6633	2662,9ab	10,7	64,3ab	36,0ab	7,8a	56,7ab
7384	2498,9ab	10,4	65,1a	36,7a	7,9a	56,3ab
7757	2553,7ab	10,6	64,3ab	35,7abc	7,7a	56,7ab
10097	2894,6ab	10,4	64,5ab	36,2a	7,7a	56,4ab
10225	2621,9ab	10,8	64,1ab	35,7ab	7,5abc	56,9ab
13053	2374,9ab	10,5	64,4ab	36,16a	7,7ab	56,6ab
13072	2583,3ab	10,4	64,7ab	36,2a	7,8a	56,4ab
13097	2211,0b	10,6	64,5ab	36,1ab	7,7ab	56,6ab
13103	3032,2a	10,4	64,6ab	36,1ab	7,7ab	56,5ab
13175	2392,7ab	10,5	64,2ab	35,9ab	7,7a	56,6ab
13329	2684,6ab	10,5	64,2ab	35,7abc	7,6abc	56,6ab
13330	2711,8ab	10,5	64,8a	36,3a	7,8a	56,4ab
15570	2693,2ab	10,8	64,3ab	36,1ab	7,6ab	56,8ab
15573	2486,6ab	10,4	64,9a	36,6a	7,9a	56,2b
18498	2323,3ab	10,9	64,5ab	36,1ab	7,8a	56,9ab
<i>B. brizantha</i>	2270,9ab	10,4	63,9ab	34,9bc	7,1bc	56,8ab
<i>B. decumbens</i>	2437,9ab	10,8	63,5b	34,6c	7,0c	57,3a

a-b-c-d Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadística significativa (p<0,05) / a-b-c-d Different letters between columns indicate significant statistical difference (p<0.05).

precipitación (Humeda\_1 y Humeda\_2). La época Seca\_1 presentó el mayor rendimiento de MS y contenido de PC, y la Humeda\_2 fue el de menor (4311,3 kg ha<sup>-1</sup>, 1693,0 kg ha<sup>-1</sup> y 11,3 %, 9,7 %, respectivamente). En la época Humeda\_2 se observó el mayor contenido de FDN, FDA y LIG (66,5 %, 37,5 % y 8,4 %, respectivamente) y la época seca\_2 el menor contenido (64,0 %, 35,0 % y 6,9 %, respectivamente). El mayor porcentaje de DIG se observó en la época seca\_1 y el menor en la Humeda\_2 (57,2 % y 55,5 %, respectivamente).

Se observó interacción significativa entre genotipo por época, en donde los testigos comerciales *B. Brizantha* y *B. Decumbens* presentaron los menores contenidos de FDA para la época seca\_1, con valores promedios de 33,8 %. Para la época seca\_2 los genotipos que mostraron menor contenido de FDA fueron 6633, 13097 y 13175, con

**Cuadro 6.** Promedio de rendimiento de materia seca (MS kg ha<sup>-1</sup>), contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (LIG) y digestibilidad (DIG) durante cuatro épocas de evaluación de veinte genotipos de *Chloris gayana* y dos testigos comerciales en el Centro de Investigación El Nus de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), municipio de San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

**Table 6.** Average dry matter yield (MS kg ha<sup>-1</sup>), crude protein content (PC), neutral detergent fiber (FDN), acid detergent fiber (FDA), lignin (LIG), and digestibility (DIG) during four evaluation periods of twenty genotypes of *Chloris gayana* and two commercial control at the El Nus Research Center of the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), municipality of San Roque, Antioquia, Colombia, 2017-2019.

Época	MS (kg ha <sup>-1</sup> )	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	LIG (%)	DIG (%)
Seca_1	4311,3a	11,3a	62,7d	36,1b	8,2a	57,2a
Seca_2	2232,4b	10,7ab	64,0c	35,0c	6,9c	57,1a
Humeda_1	2016,2b	10,3bc	64,5b	35,3c	7,1b	56,7a
Humeda_2	1693,0c	9,7c	66,5a	37,5a	8,4a	55,5b

a-b-c-d Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ ) / a-b-c-d Different letters between columns indicate significant statistical difference ( $p < 0,05$ ).

valores 34,1, 34,4 y 34,4 %, respectivamente. La época en donde se presentó el mayor contenido para esta variable correspondió a la Humeda\_2, con valores que variaron entre 37,1 % y 38,4 %; este último para la combinación con el genotipo 7384. Este último genotipo (7384) disminuyó su contenido o fue igual en Humeda\_1 (35,6), seca\_1 (36,9), y seca\_2 (35,9). Se observó que el genotipo 10225 obtuvo el menor contenido de LIG en la interacción con la época de Humeda\_1 con un valor de 6,56 %, pero su valor se incrementó en las otras épocas (seca\_2, seca\_1 y Humeda\_2), pero no fue significativamente diferente. Los genotipos 15573, 13053, 13330, 7384, presentaron el mayor valor en la época Humeda\_2, con valores de 8,76 %, 8,76 %, 8,80 % y 8,99 %, respectivamente.

La interacción genotipo épocas y días de corte fue significativa para la variable LIG, (Anexo 1), los genotipos con menores contenidos de LIG (5,7 %) correspondieron a los testigos comerciales *B. brizantha* y *B. decumbens* y al genotipo 645 en la Humeda\_1 y a los 21 días de corte. Los mayores contenidos correspondieron para los genotipos 6627, 15573, 7384, 13175, 981 y 18498 para la época Humeda\_2 a los 42 días de corte, el genotipo 6627 fue el de mayor valor (10,3 %) y diferente al resto para esta misma época.

## Discusión

Las interacciones del genotipo por época y días de corte no tuvieron significancia en la expresión total del rendimiento ( $p < 0,05$ ) (Cuadro 4), a su vez tampoco existió esta para genotipos con relación a las épocas, al igual a lo reportado por Boonman (1978) en cortes realizados cada tres semanas en condiciones similares de establecimiento, lo que puede significar que el rendimiento de los genotipos no depende de la época y momento de corte, y es un carácter más de tipo genético que ambiental. El genotipo más productivo (13103) en época de baja precipitación, también fue el más productivo en época de alta precipitación, y del mismo modo en los diferentes días de corte, para este caso a los 21, 28, 35 y 42 días sin existir diferencias entre estos, respectivamente.

El valor superior a 2200 kg ha<sup>-1</sup> en el rendimiento promedio de MS<sup>1</sup>, fue contrastante con el menor valor reportado por Pesqueira et al. (2017), quienes obtuvieron rendimientos promedios de 1147 kg ha<sup>-1</sup> para la especie *C. gayana* durante cuatro ciclos de evaluación, esta diferencia se puede relacionar al contraste con propiedades en los suelos en donde se establecieron los ensayos, material y densidad de siembra; el trabajo de Pesqueira et al. (2017) fue desarrollado en zona templada y en suelos salinos sódicos (pH=9,8) y semilla sexual, al contrario del

presente estudio, el cual se desarrolló en suelos ácidos ( $\text{pH}=5,05$ ) y con deficiencias de algunos nutrientes como el caso de N, P, K, Ca, Mg y excesos de Al y Fe (Cuadro 2). Los genotipos evaluados presentaron buena adaptación al trópico bajo colombiano, debido a los mayores rendimientos presentados, lo anterior se confirma en los trabajos realizados por Daba et al. (2019) y Chiacchiera (2017), quienes afirmaron que esta especie obtuvo mejor desarrollo y rendimiento en suelos no salinos, debido a que la salinidad reduce la capacidad que tienen las plantas para absorber agua y provoca una rápida disminución en las tasas de crecimiento. Mayores rendimientos (4800 a 15 210  $\text{kg ha}^{-1}$ ) a los del presente trabajo se reportaron en otros estudios (Hidosa et al., 2018; Pérez, 2017; Pesqueira et al., 2017), lo cual demuestra la alta plasticidad fenotípica y adaptabilidad que presenta la especie en estudio.

Las épocas de baja precipitación (seca\_1 y seca\_2), aunque presentaron diferente comportamiento con relación a la cantidad de precipitación acumulada (Figura 1), ambas obtuvieron mayores rendimientos promedios de MS al compararse con las épocas de alta precipitación (Humeda\_1 y Humeda\_2), esto puede coincidir con lo que afirma Pesqueira et al. (2017), quienes describieron en su trabajo que la especie *C. gayana* deja de crecer durante los periodos de mayor precipitación y en los periodos de menor precipitación las tasas de crecimiento comienzan a incrementarse, lo cual indica que la especie, se adaptada más a condiciones extremas de sequía (Ruolo, 2010). Lo anterior también coincide con lo que afirmaron Imaz et al. (2015), quienes aseguraron que esta especie puede reducir hasta un 40 % la biomasa cuando se encuentra en terrenos inundados, debido a la baja capacidad de la especie para tolerar esta condición de anegamiento prolongado. El rendimiento de MS fue decreciendo desde la época seca\_1 hasta la Humeda\_2, debido a la pérdida de persistencia de la especie, similar al estudio realizado por Gutiérrez (2009) con diferentes genotipos de *Chloris gayana* a lo largo de tres años, evaluados en la estánquela Uruguay, lo cual indica, que la especie, a pesar de su alta plasticidad fenotípica, requiere de un manejo y condiciones para su establecimiento y persistencia, aunque estos presenten cierta capacidad para tolerar tanto suelos salinos como sódicos, evitando que pierda su persistencia a través del tiempo. Sin embargo, el pH del suelo (5,05) de este estudio, permite inferir que existió una respuesta diferencial entre genotipos, debido a las diferencias expresadas en productividad y correlacionadas con la capacidad de adaptación de estos al ambiente utilizado.

Los contenidos de proteína de la especie pueden variar de acuerdo con el ambiente en el que se encuentre, es decir, de acuerdo con el manejo, las condiciones climáticas y demás factores influenciadores en la expresión genética de la pastura (Santacoloma-Varón et al., 2016). El contenido de PC presentado en este estudio fue mayor a lo reportado por Ribotta et al. (2005), quienes evaluaron ocho clones diploides y tetraploides en dos momentos de corte (diferido y no diferido) y obtuvieron contenidos promedios de 8,9 % y 8,5 %, respectivamente, sin presentar diferencias estadísticas entre sí, en contraste con los resultados obtenidos en este trabajo y por Miranda & Osorio (2012), cuyo valor promedio fue de 12,6 % de proteína. Las épocas de corte presentaron diferencias significativas demostrando que la cantidad de humedad presente en el suelo influye en la expresión de este carácter. A su vez se puede inferir que esta diferencia se relacionó a las condiciones edafoclimáticas en que se realizaron los ensayos, lo que permitió una variación en la expresión de este y, al considerar que el centro de origen de la especie es África, se puede explicar el alto contenido de proteína en momentos de menor disponibilidad de agua (Ishigaki et al., 2019). La adición de fertilizantes, el momento de corte y el pH del suelo también influyeron directamente (Pembleton et al., 2009). En el trabajo realizado por Pesqueira et al. (2017) obtuvieron un menor contenido de PC (5,63 %) en suelos salinos sódicos; aunque no existieron diferencias estadísticas entre genotipos, debido posiblemente a la similitud genética y a que son productos de colectas realizadas en África, por lo que guardan alto grado de parentesco entre los genotipos del presente estudio, pero que divergen con relación a otras características como toleración a estreses abióticos (Salgado et al., 2005). Contrastando con lo anterior en donde sí se pueden apreciar las diferencias a través de las épocas evaluadas, se evidenció una paulatina reducción, similar a lo presentado con el contenido de MS a través del tiempo (Salgado et al., 2005). En el estudio realizado por Arshad et al. (2016) se obtuvieron valores de PC entre 9 y 12 % con un intervalo de riego cada diez días, el intervalo que presentó mayor rendimiento en cinco momentos de evaluación (5, 10, 15, 20 y 25 días).

En cuanto al contenido de FDN, Pesqueira et al. (2017) reportaron valores superiores con 66,1 % para la especie *C. gayana* durante cuatro ciclos de evaluación en suelos salinos sódicos (pH=9,8). El alto contenido de FDN sumado a la baja proporción de PC, reduce la DIG y, por consiguiente el consumo voluntario del forraje (Slanac et al., 2019). Se reportan valores de FDN de 46 a 56 % en estudios realizados en diferentes momentos de corte, en donde el aumento de la biomasa está correlacionado directamente con el aumento de FDN en la especie (Agnusdei et al., 2013). Con lo cual se concluye que la época y la genética, tiene alta influencia en la variación de este carácter. El contenido de FDN esta inversamente correlacionado con la digestibilidad de la MS según el análisis realizado (PCA), por lo anterior, los genotipos que presentaron los mayores valores de FDN posiblemente fueron los menos digestibles y menos palatales para el ganado bovino (Nenning, 2009).

Los genotipos evaluados en este trabajo se clasificaron de mala calidad por su alto contenido de FDN. Los forrajes se clasifican de acuerdo con el contenido de FDN como excelente (<40 %), bueno (40 - 50 %), regular (50 - 60 %), y malo (>60 %) (Núñez et al., 2009). Los contenidos de FDN y FDA están dados por la maduración de los forrajes, a mayor madurez mayor contenido de estos componentes (Mamani, 2016). A medida que se aumenta la edad de corte se esperan aumentos sustanciales en los contenidos de fibra, debido al envejecimiento y lignificación de los tejidos. En el presente estudio se obtuvo un contenido de FDN de 64 % a una altura de corte de 15 cm, diferente al obtenido a lo obtenido por Avila et al. (2012), quienes evaluaron pasturas de *C. gayana* a dos alturas de cortes (5 y 12 cm) y obtuvieron contenidos de FDN de 60,9 y 62,4 % respectivamente, lo que demuestra que la altura fue inversamente proporcional al contenido de fibras en el forraje. Con el manejo del tamaño foliar se puede controlar las variaciones de la calidad nutritiva de la pastura (Agnusdei et al., 2013; Avila et al., 2012), así, la calidad nutritiva no depende de las etapas fenológicas, sino de proceso dinámico estrechamente acoplado a la ontogenia y morfogénesis foliar y a su vez de la genética (Agnusdei et al., 2011). Se reportó un contenido de FDA de 35,2 % durante cuatro ciclos de evaluación en suelos salinos sódicos (pH=9,8) (Pesqueira et al., 2017), este contenido fue menor a lo reportado en este estudio, siendo la época Humeda\_2 la de mayor valor, debido a que el exceso de precipitación ocasiona cese de los procesos metabólicos y al endurecimiento de la pared celular (Mamani, 2016).

Se han realizado evaluaciones del asocio de la especie *C. gayana* con *Melilotus alba* en diferentes proporciones de semilla (Yisehak, 2008), en donde se encontró que el rendimiento de MS y calidad nutricional estuvieron relacionadas con las proporciones de semilla empleada. Los tratamientos con mayor proporción de *M. alba* arrojaron mayor contenido de PC y los de mayor proporción de *C. gayana* presentaron un contenido alto de fibras. En relación con lo anterior, en el tratamiento que solo se empleó *C. gayana* (monocultivo), se obtuvo el mayor contenido de FDN y FDA (63,1 % y 38,9 %, respectivamente), el valor de FDN fue muy similar al obtenido en todos los genotipos evaluados del presente trabajo, pero la FDA fue superior a estos. Estas diferencias se pueden relacionar a la altura y momento del corte como lo reportado en el trabajo de Yisehak (2008), donde se realizó el corte a 5 cm del suelo, y cuando alcanzó un 50 % de floración, contrario al corte realizado en este trabajo, el cual correspondió a 15 cm de altura y en diferentes momentos.

La lignina fue la única variable que presentó diferencia significativa en la triple interacción genotipo, época y días de corte, debido a que es un carácter altamente variable y dependiente de varios componentes como la genética, la edad y el momento de corte, lo cual indica que es un carácter de tipo poligénico de genes menores y altamente influenciado por el ambiente (Salgado et al., 2005). Las interacciones entre estos factores causan variaciones sustanciales en su contenido, lo cual se puede evidenciar con los resultados contrastantes al presente estudio mostrados en el trabajo realizado por Pesqueira et al. (2017), quienes obtuvieron un contenido de LIG menor (4,38 %) durante cuatro ciclos de evaluación en suelos salinos sódicos (pH=9,8). Se observó una alta variabilidad en las evaluaciones realizadas tanto para los diferentes genotipos, como para cada uno de las épocas y momentos de corte registrados, al igual que lo reportado por Ponsens et al. (2010), en donde se presentó una alta variabilidad para en este carácter y demás variables, debido a la alta cantidad de genotipos existentes y momentos de evaluación

presentados, de la misma forma que el presente estudio, en donde el experimento perdió sensibilidad al existir tantas interacciones presentes. El espesor de las paredes celulares y la lignificación pueden ser modificados o alterados por el manejo agronómico y también por los factores ambientales (Slanac et al., 2019). Se ha observado que las fertilizaciones, adelantos en las fechas de siembras, y el suministro de riegos, tiene relación positiva con los tejidos no lignificados, que influyen positivamente sobre la digestibilidad. La LIG es un componente estructural vital para las plantas, pues aporta soporte y rigidez a las plantas, también proporciona tolerancia a plagas y enfermedades, pero, a mayor cantidad de esta la DIG es más limitada. La lignina presenta compuestos fenólicos y con características hidrofóbicas (Vargas, 2016), lo cual impide que las bacterias ruminales la puedan degradar.

La digestibilidad presentó poca variabilidad y esta estuvo determinada principalmente por la genética y el momento de utilización de la pastura, con valores para el presente trabajo inferiores al 58 %, el cual estuvo poco influenciado por el ambiente, lo que indica que el carácter está determinado por pocos genes de gran efecto y bajamente influenciados por el ambiente (Vallejo-Cabrera & Estrada-Salazar, 2002), lo contrario a lo reportado por Benítez et al. (2001), quienes reportan una DIG superior al 60 % en suelos formados por materiales aluviales, lo cual podría indicar que esta variable es altamente dependiente de las características del suelo en donde se establezcan y podría aumentar si se siembra en asocio con alguna leguminosa. Resultados similares obtenidos por Boonman (1978), quienes obtuvieron niveles de DIG superiores al 70 %. El consumo voluntario y la DIG son los parámetros más importantes que definen la calidad de un forraje (Slanac et al., 2019), por lo cual esta variable es determinante en la selección de un forraje adecuado para el establecimiento de sistemas ganaderos.

## Conclusiones

La materia seca, la fibra en detergente neutro y la digestibilidad fueron las variables más influyentes en los comportamientos productivos de los forrajes evaluados en términos de porcentaje de contribución, los genotipos que presentaron los mejores rendimientos y características nutricionales fueron el 13103 y el testigo comercial *B. brizantha*.

Los genotipos experimentales presentaron características productivas y nutricionales con relación a los testigos comerciales, pero es necesario continuar con investigaciones tendientes al manejo agronómico y suministro para los bovinos en términos de disminución de la proporción de fibras a aportar, a su vez es indispensable determinar el grado de consumo voluntario para los bovinos. Además, se debe continuar los procesos de registro para los genotipos, que presenten el mejor comportamiento agronómico y nutricional.

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a AGROSAVIA por el apoyo financiero, logístico y tiempo para realizar esta investigación dentro de su agenda dinámica corporativa.

## Referencias

- Agnusdei, M. G., Di Marco, O. N., Nanning, F. R., & Aello, M. S. (2011). Leaf blade nutritional quality of rhodes grass (*Chloris gayana*) as affected by leaf age and length. *Crop and Pasture Science*, 62(12), 1098–1105. <https://doi.org/10.1071/CP11164>
- Agnusdei, M., Nanning, F., Di Marco, O., & Aello, M. (2013). Variaciones de calidad nutritiva durante el crecimiento vegetativo de gramíneas megatérmicas de diferente porte y longitud foliar (*Chloris gayana* y *Digitaria decumbens*). *Revista Argentina de Producción Animal*, 29(1), 13–25.

- Anzola, H., Durán, H., Ricón, J., Martínez, J., & Restrepo, J. (2014). El uso eficiente de los forrajes tropicales en la alimentación de los bovinos. *Revista Ciencia Animal*, 7, 111–132.
- Ariza-Nieto, C., Mayorga, O. L., Mojica, B., Parra, D., & Afanador-Tellez, G. (2018). Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 26(1), 44–52. <https://doi.org/10.1177/0967033517746900>
- Arshad, I., Yi-De, H., An-Zhong, Y., Wen-Ge, W., Xin, X., Xu You-Zun, X., & Gang, C. (2016). Effect of water stress on growth and yield of rice. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 11(8), 537–544. <https://doi.org/10.19026/ajfst.11.2698>
- Avila, R. E., Marco, O. D., & Agnusdei, M. (2012). Calidad nutritiva de láminas de *Chloris gayana* en estado vegetativo. Efecto de la reducción del tamaño foliar y envejecimiento. *Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal*, 20(1–2), 17–27.
- Benítez, D., Fernández, J., Gómez, I., & Espinosa, R. (2001). Inclusión de dos leguminosas en el rendimiento de *Chloris gayana* vc Callide en el valle del Cauto, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(4), 407–411. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018246016>
- Betancourt, J., Cuastumal, H., Rodríguez, S., Navia, J., & Insuasty, E. (2012). Alimentación de vacas holstein con suplemento de papa de desperdicio (*Solanum tuberosum*) y acacia negra (*Acacia decurrens*), y su efecto en la calidad de leche. *Revista Investigación Pecuaria*, 1(2), 41–51.
- Boonman, J. (1978). Herbage quality in Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth). 2. Intra-variety variation in yield and digestibility of plants of similar heading date. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 26, 337–343. <https://core.ac.uk/download/pdf/304919236.pdf>
- Calderón, M. (1982). Evaluación del daño causado por insecto. En J. M. Toledo (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica: Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales* (pp. 57–71). Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Callelo, M. (2011). *Evaluación de producción de biomasa de Chloris gayana Kunth (cv. Top Cut y cv. Fine Cut) en la Cuenca del Salado* [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Argentina]. Repositorio de la Universidad Católica Argentina. <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/evaluacion-produccion-biomasa-chloris-gayana.pdf>
- Chiacchiera, S. (2017). *Freática y la salinidad sobre la dinámica de crecimiento de Grama Rhodes (Chloris gayana)*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Daba, A. W., Qureshi, A. S., & Nisaren, B. N. (2019). Evaluation of some rhodes g (*Chloris gayana*) genotypes for their salt tolerance, biomass yield and nutrient composition. *Applied Sciences*, 9(1), Article 143. <https://doi.org/10.3390/app9010143>
- Dray, S., & Dufour, A. B. (2007). The ade4 package: Implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software*, 22(4), 1–20. <https://doi.org/10.18637/jss.v022.i04>
- Federación Colombiana de Ganaderos. (2011). *Sistemas integrados de alimentación en bovinos*. Departamento de Producción Animal Universidad Nacional de Colombia. <https://www.fedegan.org.co/sistemas-integrados-de-alimentacion-bovina>
- Federación Colombiana de Ganaderos. (2018). *Ganadería colombiana. Hoja de ruta 2018 - 2022*. [http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja\\_de\\_ruta\\_Fedegan.pdf](http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja_de_ruta_Fedegan.pdf)

- Gutiérrez, F. (2009). *Evaluación primaria de producción de forraje y adaptación de Forrajeras Megatérmicas en las condiciones de La Estanzuela, Uruguay*. INIA.
- Hidoso, D., Hitiso, W., & Guyo, M. (2018). Biomass production of different grass species available at irrigated lowland of Dassench Woreda in South Western Ethiopia. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 46(3), 188–191. <https://doi.org/10.3329/bjas.v46i3.36313>
- Imaz, J. A., Giménez, D. O., Grimoldi, A. A., & Striker, G. G. (2015). Ability to recover overrides the negative effects of flooding on growth of tropical grasses *Chloris gayana* and *Panicum coloratum*. *Crop and Pasture Science*, 66(1), 100–106. <https://doi.org/10.1071/CP14172>
- Ishigaki, G., Sidik, P., Nitthaisong, P., Akashi, R., & Fukuyama, K. (2019). Evaluation of drying characteristics of Rhodesgrass (*Chloris gayana*) and new tetraploid Ruzigrass (*Urochloa ruziziensis*). *Nihon Danchi Chikusan Gakkaihou*, 62(1), 25–30. <https://doi.org/10.11461/jwaras.62.25>
- Lenné, J. (1982). Evaluación de enfermedades en pastos tropicales en el área de actuación. En J. M. Toledo, editor, *Manual para la evaluación agronómica: Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales* (p. 45-55). Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- León, M. (2010). Megatérmicas para mejorar la ganadería subtropical. Adaptación y utilización de megatérmicas para aumentar la productividad del los sistemas Ganaderos en la región subtropical semiárida del país. *Planteos Ganaderos*, 2010, 47-53. [https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2013/03/PGSD10\\_007.pdf](https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2013/03/PGSD10_007.pdf)
- Litalien, D., Guay, F., Geoffrion, S., Giguère, C. É., Fortin, M., Fortin, C., & Robette, N. (2009). Elaboracion de un bloque multinutricional a partir de los subproductos generados por industria panelera, destinado para la alimentación de ganado bovino productor de carne, en el municipio de Sandona-Nariño. *Bifurcations*, 45(1), 1–19. <https://doi.org/10.7202/1016404ar>
- Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D., & Oliver, S. (2006). *SAS for Mixed Models* (2<sup>nd</sup> Ed.). SAS Publishing.
- Mahecha, L., & Gallego, P. F. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 213–225.
- Mamani, J. (2016). *Avena forrajera: valor nutricional, ventaja comparativa y competitiva en la región Puno* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3733/Mamani\\_Paredes\\_Javier.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3733/Mamani_Paredes_Javier.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Miranda, J., & Osorio, J. (2012). *Análisis de gramíneas tropicales y simulación de producción potencial de leche*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Zamorano]. Repositorio del Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/1042>
- Nenning, F. (2009). *Calidad nutritiva de láminas de gramíneas megatérmicas de diferente hábito de crecimiento en relación el envejecimiento y tamaño foliar*. Universidad Nacional de Mar de Plata.
- Núñez, G., González, F., Bonilla, J., & Bustamante, J. (2009). Proceso de alimentación del ganado lechero. En G. Nuñez, E. Díaz, J. Espinosa, L. Ortega, L. Hernández, & H. Vera, Ruiz (Eds.), *Producción de leche de bovino en el sistema intensivo* (23<sup>rd</sup> ed., pp. 81–116). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Oprandi, G., Colombo, F., & Parodi, M. (2009). Grama Rhodes, una alternativa productiva para los sistemas ganaderos del norte de Santa Fe, Argentina. *Revista Voces y Ecos*, 31, 26-27. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_vye\\_nro31\\_gramarhodes\\_alternativa\\_a\\_sistemas\\_gan.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_vye_nro31_gramarhodes_alternativa_a_sistemas_gan.pdf)

- Osorio, C., Anzola, H., & Restrepo J. (2011). *Programa de alimentación bovino - PAB: "El ganado paga, pero bien alimentado"*. Federación Colombiana de Ganaderos. <https://www.slideshare.net/Fedegan/el-ganado-pagaperobienalimentado>
- Pembleton, K. G., Lowe, K. F., & Bahnisch, L. M. (2009). Utilising leaf number as an indicator for defoliation to restrict stem growth in rhodes grass (*Chloris gayana*) cv. Callide. *Tropical Grasslands*, 43(2), 79–85.
- Pérez, H. E. (2017). *Chloris gayana* Cv EPICA INTA PEMAN: Una alternativa forrajera para los sistemas ganaderos del subtropico Argentino. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pesqueira, J., Otondo, J., & García, M. (2017). Producción de biomasa, cobertura y calidad forrajera de *Chloris gayana* y *Panicum coloratu* en un suelo alcalino sodico de la epresión del Salado. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 43(3), 231–238. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86454121009>
- Ponsens, J., Hanson, J., Schellberg, J., & Moeseler, B. (2010). Characterization of phenotypic diversity, yield and response to drought stress in a collection of Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth) accessions. *Field Crops Research*, 118(1), 57–72. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.008>
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Ribotta, C., Griffa, A. N., López Colomba, S., Grunberg, E., & Biderbost, K. (2005). Determinación del contenido proteínico en materiales seleccionados de *Cenchrus ciliaris* L., *Chloris gayana* K. y *Panicum coloratum* L. *Pastos y Forrajes*, 28(3), 245–246. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121675007>
- Roulo, M. S. (2010). *Morfogénesis, estructura, producción y calidad de Chloris gayana Kunth bajo distintos regímenes de defoliación* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Córdoba] Repositorio de la Universidad Nacional de Córdoba. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2017ruolomariasoledad.pdf>
- Salgado, M. A., Díaz, D. G., Ontivero, M. I., Taleisnik, E., Pérez, H., & Castagnaro, A. P. (2005). Caracterización genómica de genotipos seleccionados para tolerancia/susceptibilidad a la salinidad en *Chloris gayana* tetraploide. *Basic and Applied Genetics*, 17(12), 160-160
- Salinas, J. (1982). Muestreo de suelo y tejido vegetal en los ensayos regionales A y B. En J. M. Toledo (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica: Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales* (pp. 111-116). Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Santacoloma-Varón, L., Granados-Moreno, J., & Aguirre-Forero, S. (2016). Evaluación de variables agronómicas, calidad del forraje y contenido de taninos condensados de la leguminosa *Lotus corniculatus* en respuesta a biofertilizante y fertilización química en condiciones agroecológicas de trópico alto andino colombiano. *Entramado*, 13(1), 222-233. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25136>
- Serrano, P., & Calderón, F. (2016, Julio 20-22). *Análisis geoespacial del cambio de las zonas de vida de Holdridge en la provincia de Guayas* [Presentación de Conferencia]. 14<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. San José, Costa Rica. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.185>
- Slanac, A., Kuceva, C., & López, M. (2019). Ruminant degradability of dry matter *Chloris gayana* hay treated with urea in cattle. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 9(2), 18–23. <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2019.09.02.18-23>
- Statistical Analysis Systems. (2016). *SAS Software, Version 9.4*. SAS institute Inc.

- Toledo, J. (1982). *Manual para la evaluación agronómica: Red internacional de evaluación de pastos tropicales*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Toledo, J., & Schultze, R. (1982). Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En J. Toledo (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica* (pp. 91-110). Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Trujillo, G. (2009). *Guía para la utilización de recursos forrajeros tropicales para la alimentación de bovinos (Convenio 0)*. Comité de Ganaderos del Huila, Servicio Nacional de Aprendizaje, Fondo Granadero del Huila, & Gobernación del Huila.
- Vallejo-Cabrera, F., & Estrada Salazar, E. (2002). *Mejoramiento genético de plantas*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52016>
- Vargas, J. (2016). *Calidad de los forrajes para rumiantes*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Yisehak, K. (2008): Effect of seed proportions of Rhodes grass (*Chloris gayana*) and white sweet clover (*Melilotus alba*) at sowing on agronomic characteristics and nutritional quality. *Livestock Research for Rural Development*, 20, Article 28. <http://www.lrrd.org/lrrd20/2/yise20028.htm>