

Alimentación y nutrición animal

Artículo de investigación científica y tecnológica

Evaluación agronómica y valor nutritivo de avena (*Avena sativa*) bajo condiciones de restricción de lluvia en los Andes

Agronomic evaluation and nutritive value of oat (*Avena sativa*) under rainfall restriction in the Andes

 Sheyla Johanna Shumyko Arango Quispe¹  Mario Viera Valencia¹
 Carlos Alfredo Gómez Bravo^{1*}

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

* Autor de correspondencia: Universidad Nacional Agraria La Molina, Avenida La Molina s/n, Lima, Perú.
cagomez@lamolina.edu.pe

Recibido: 09 de septiembre de 2020
Aprobado: 24 de agosto de 2021
Publicado: 17 de enero de 2022

Editor temático: Edwin Castro Rincón, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]

Para citar este artículo: Arango Quispe, S. J. S., Viera Valencia, M., & Gómez Bravo, C. (2022). Evaluación agronómica y valor nutritivo de avena (*Avena sativa*) bajo condiciones de restricción de lluvia en los Andes. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1), e2214. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2214

Resumen: La avena es un cereal de alto valor nutritivo para humanos y animales. El objetivo del estudio fue caracterizar agronómicamente ocho genotipos de avena en respuesta a la restricción de lluvia. Se realizó en los Andes centrales del Perú mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial ocho genotipos de avena forrajera (INIA901 Mantaro15, INIA902 Africana, INIA903 Tayco, Junín-Jauja blanca, Centenario, Junín-Tarma negra, Junín-Jauja negra y Cayuse) con 0 % y 60 % de restricción de lluvia y tres repeticiones. Se tuvieron 48 unidades experimentales (parcelas de 4,8 metros cuadrados), donde la restricción de lluvia se logró a través de interceptores de lluvia. Se encontró a una confianza del 95 % que no existe interacción entre los genotipos de avena y la restricción de lluvia. La restricción de lluvia afectó al rendimiento (ton MS/ha) disminuyéndolo de $4,3 \pm 0,7$ a $3,0 \pm 1,0$, y al porcentaje de proteína cruda aumentándolo de $12,7 \pm 3,1$ a $17,0 \pm 2,7$. No se encontró efecto significativo de la restricción de lluvia sobre la fibra detergente neutro, la cual fue de $41,1 \pm 1,8$ % para el nivel sin restricción y $41,3 \pm 3,2$ % para el nivel con restricción; ni sobre la digestibilidad in vitro aparente de la materia orgánica que fue de $71,5 \pm 15,3$ % para el nivel sin restricción y de $67,8 \pm 15,4$ % para el nivel con restricción. Los genotipos que mejor resisten la sequía son Junín-Jauja negra y Centenario.

Palabras clave: alimentación animal, cambio climático, estrés hídrico, ganadería, resistencia a sequía

Abstract: The aim of this study was to characterize eight oat genotypes under rainfall restriction based on their agronomic characteristics and their nutritive value. It was conducted in the central Andes of Peru where eight genotypes of forage oats (INIA901 Mantaro 15, INIA902 Africana, INIA903 Tayco, Junin-Jauja white, Centenario, Junin-Tarma dark, Junin-Jauja dark and Cayuse) under 0 and 60 percent rainfall restriction with 3 repetitions each were evaluated in a completely randomized design with a factorial arrangement. There were 48 experimental units (4.8 square meters plots) and the rainfall restriction was set up by putting a rain out shelter on the field. A 95 percent confidence test found the nonexistence of interaction between oat genotypes and rainfall restriction. In addition, rainfall restriction decreases yield (ton DM/ha) from 4.3 ± 0.7 to 3.0 ± 1.0 , and increases the percentage of protein significantly from 12.7 ± 3.1 to 17.0 ± 2.7 . There was not found any significant effect among the other parameters such as neutral detergent fiber in which the level without restriction was 41.1 ± 1.8 % and the level with restriction was 41.3 ± 3.2 %, and also for the apparent in vitro digestibility of the organic matter fiber in which the level without restriction was 71.5 ± 15.3 % and the level with restriction was 67.8 ± 15.4 %. The two genotypes with the best drought resistance were Junin-Jauja dark and Centenario.

Keywords: animal breeding, animal feeding, climate change, drought resistance, water stress



Introducción

El cambio climático afecta directamente a la agricultura (Vidal, 2020), uno de sus efectos es el cambio en el ciclo del agua que incluye variaciones en la cantidad y la distribución de las precipitaciones a lo largo de las estaciones (DeNicola et al., 2015). Esta escasez de agua afecta el desarrollo de especies forrajeras como la avena, utilizada por los pequeños productores en los Andes de América del Sur como forraje fresco (Contreras et al., 2020) o en la forma de ensilado (Cardona et al., 2019) para la alimentación de rumiantes por ser fuente de nutrientes común y de bajo costo.

La avena tiene una buena composición nutricional, lo que resulta en buenos índices reproductivos y de producción lechera (Contreras et al., 2020). Existen esfuerzos para mejorar ciertas características agronómicas de la avena, y se han obtenido distintas accesiones o genotipos, que se han distribuido y aceptado en zonas productoras tanto en Perú (Noli & Ricapa, 2010) como Colombia (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2018).

Se tiende a seleccionar la avena para obtener el máximo rendimiento, ya sea de semilla o de forraje (Sahu & Tiwari, 2020), para adaptarse a altitudes superiores a los 3800 m s.n.m. o para obtener precocidad de manera que se acorte su ciclo productivo (Rivera et al., 2020). La respuesta a ambientes con poca disponibilidad de agua no había sido considerada en la continua mejora de esta especie; sin embargo, ya se menciona la necesidad de obtener líneas de avena con alto rendimiento bajo condiciones limitadas de agua (Da Silva Oliveira et al., 2020; Sánchez-Martin et al., 2018) y es así como se han empezado a desarrollar nuevas variedades de avena que sean resilientes al cambio climático como es el caso de la INIA 908 – Mellicera (Rivera et al., 2020). Se conoce que plantas que crecen bajo estrés hídrico disminuyen su crecimiento (Canales et al., 2019) y que aun tratándose de pequeños cambios en el potencial osmótico de la planta se reduce la germinación de las semillas de avena (Oliveira et al., 2020).

Por lo mencionado, es importante identificar los genotipos de avena que posean una mejor respuesta, tanto agronómica como nutricional, ante los sucesos hídricos relacionados al cambio climático. No existe trabajo anterior reportado que tenga dicho objetivo en los Andes de América del sur. Sumado a ello, la falta de investigaciones que buscan conocer el comportamiento agronómico y el cambio en la composición química de la avena forrajera frente a situaciones de sequía hacen necesario este estudio que tiene como objetivo caracterizar agronómicamente y por su valor nutritivo a ocho genotipos de avena en respuesta a la restricción de lluvia.

Materiales y métodos

Lugar de estudio

El presente estudio se realizó en el distrito de Jauja, ubicado a una altitud de 3340 m s.n.m. en los Andes Centrales del Perú. Tuvo una duración de cinco meses durante la época de lluvia (figura 1), de febrero a junio del año 2018. El relieve del área en estudio no presentaba pendiente

significativa y el suelo poseía una textura franco arenoso, un pH de 8,1; un porcentaje de materia orgánica de 9,11; un contenido de 92,65 ppm de fósforo y 4200 ppm de potasio, lo cual es favorable para el cultivo de avena ya que este forraje se adapta a casi todo tipo de suelos de las zonas altoandinas del Perú (Noli et al., 2010).

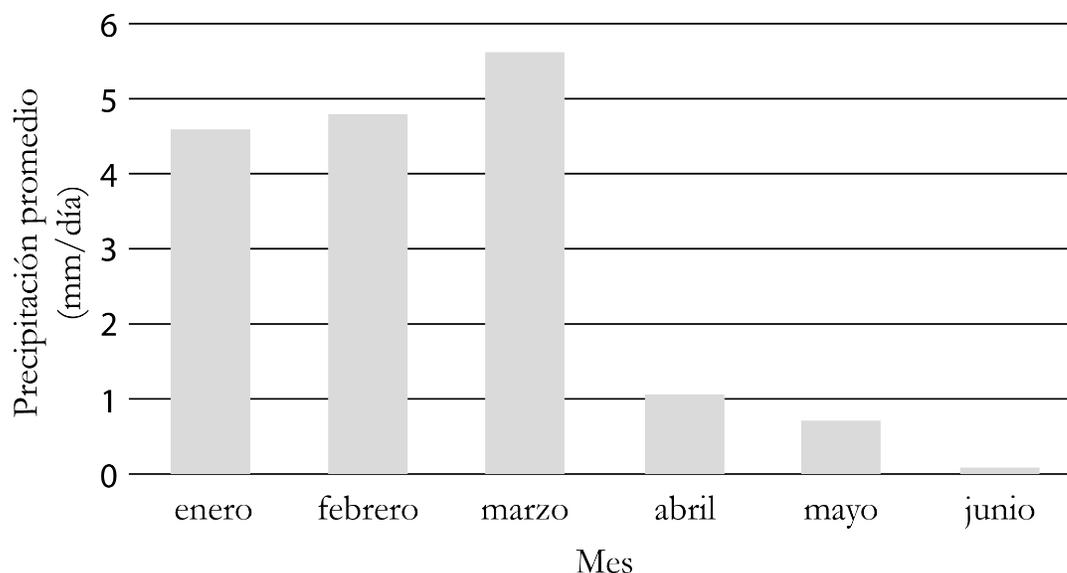


Figura 1. Precipitación mensual promedio del año 2018 en el lugar de estudio
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (2018)

Genotipos de avena y diseño experimental

Se utilizaron ocho genotipos de avena forrajera (INIA901 Mantaro15, INIA902 Africana, INIA903 Tayco, Junín-Jauja blanca, Centenario, Junín-Tarma negra, Junín-Jauja negra y Cayuse) de diferente procedencia y porcentaje de germinación (tabla 1) con dos tratamientos (sin restricción de lluvia y con 60 % de restricción de lluvia), cada uno con tres repeticiones por lo que se obtuvieron 48 unidades experimentales. El tratamiento con 60 % de restricción de lluvia se logró mediante el uso de interceptores de lluvia que fueron probados y validados en un estudio hecho por Yahdjian y Sala (2002) quienes informaron sobre la efectividad de dicha restricción. Los interceptores (figura 2) son estructuras que constan de cuatro soportes y un techo a base de 15 canaletas (180 cm de largo, 13,8 cm de ancho, 2,4 mm de grosor y un ángulo de 120°) de acrílico transparente, que recogen el 60 % de lluvia y por medio una canaleta de PVC y una manguera la depositan hacia un balde de plástico de 20 litros de capacidad. No se realizó riego durante desarrollo del cultivo que es típico manejo en los Andes.

Tabla 1. Descripción de los ocho genotipos de avena

Genotipo	Procedencia	Germinación (%)
INIA901Mantaro15	Huancayo	98
INIA902 Africana	Puno	68
INIA903 Tayco	Cusco	72
Junín-Jauja blanca	Junín	22
Centenario	Junín	100
Junín-Tarma negra	Junín	76
Junín – Jauja negra	Junín	82
Cayuse	Puno	30

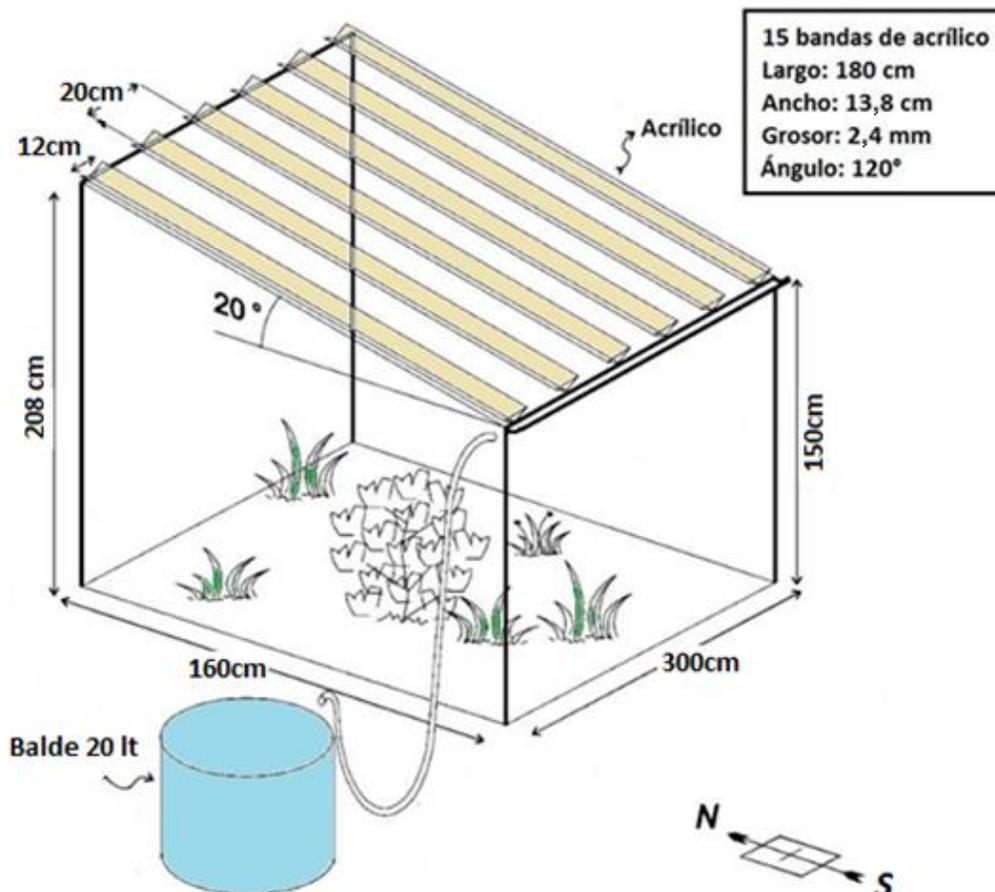


Figura 2. Diseño de interceptores de lluvia
Fuente: Modificado de Yahdjian y Sala (2002)

Procedimiento

Se inició con una prueba estándar de germinación para cada genotipo de avena, se realizó en condiciones de laboratorio y de acuerdo con las Regulaciones del ISTA (2021) a temperatura y humedad controladas. Después se realizó la preparación del terreno (1000 m²), la delimitación de las parcelas de 4,8 m² (3 metros de largo y 1,6 metros de ancho) y la instalación de los 24 interceptores. La siembra se realizó en febrero del 2018, usando la técnica del voleo a una densidad de siembra de 100 kg/ha, es decir 48 gramos por parcela. No se fertilizó el terreno y se realizaba deshierbo manual.

Con respecto al manejo de los interceptores de lluvia, inicialmente, el agua de los baldes se retiraba de manera interdiaria y luego, la frecuencia se disminuyó progresivamente con el cesar de las lluvias hasta hacerse de manera semanal. El día 120, se realizó la medición de la altura de planta con una regla partiendo desde el suelo hasta el ápice de la hoja más alta. La medición del rendimiento se realizó en junio, 2018 a los 120 días, utilizando el método del cuadrante (Mostacedo & Fredericksen, 2020) y se identificó el estado fenológico al momento del corte.

Las fenologías encontradas fueron: panoja, inicio de floración y grano lechoso. Se definió como panoja cuando las plantas aun no tenían inflorescencia, inicio de floración cuando había hasta un 90 % de semillas y grano lechoso cuando las semillas eliminaban un líquido blanco al ser presionadas. Para realizar el corte del forraje, se utilizó una hoz y se tomó en cuenta el efecto borde eliminando 0,50 metros de alrededor de cada parcela. Se utilizaron dos cuadrantes de un metro cuadrado, se colocó el pasto proveniente de cada cuadrante en una bolsa plástica identificada y se registró el peso mediante una balanza. El rendimiento se obtuvo con el promedio de estas dos muestras y se expresó en términos de toneladas de materia seca por hectárea (ton MS/ha).

La muestra destinada a la evaluación nutricional se obtuvo retirando aproximadamente 500 gramos de la muestra conjunta de cada parcela. Estas fueron enviadas al Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se analizó el contenido de proteína cruda siguiendo el procedimiento Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (2005), el análisis de fibra detergente neutro (FDN) con la prueba de Van Soest (1965) y la digestibilidad *in vitro* aparente de la materia orgánica (DIVMO) utilizando el DAISY Incubator, ANKOM Technology (ANKOM, 2005).

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de la restricción de lluvia en los genotipos de avena se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 8 x 2, con un total de 16 tratamientos. Para comparar los promedios de los tratamientos y factores se utilizó una prueba Tukey a un nivel de significancia de 0,05. El análisis estadístico se realizó en el programa Statistic Analysis System-SAS.

Resultados y discusión

Los resultados de este estudio se basan en que con el 60 % de restricción de lluvia se logró simular una sequía, para lograr lo que por definición se trata de un periodo prolongado, usualmente de longitud estacional o mayor, durante el cual la precipitación se encuentra por debajo de sus valores normales (SENAMHI, 2019). Para el año 2018, en el que se realizó este estudio, la precipitación anual del lugar del experimento fue de 817,7 mm. Al aplicarle la restricción del 60 % se tiene como resultado que el tratamiento se realizó con 327 mm de precipitación anual. Aunque si bien los interceptores de lluvia cubrieron a las plantas de la lluvia, la absorción de agua por parte del suelo colindante con las parcelas del tratamiento podría hacer que se subestime este número. Según autores como Mamani y Cotacallapa (2018), la avena requiere entre 400 a 600 mm de precipitación anual, por lo que el valor de 327,1 mm anual sería considerado como un estrés por sequía.

Fenología

Para el análisis de datos, el momento de corte fue a los 120 días, encontrándose diferentes estadios fenológicos para cada tratamiento (tabla 2). Los genotipos más precoces en su desarrollo fenológico fueron INIA901 Mantaro15, INIA903 Tayco, Junín-Tarma negra y Junín-Jauja negra, que consiguieron llegar hasta el estadio de inicio de floración. Por otro lado, los genotipos que se desarrollaron de manera lenta fueron Junín-Jauja blanca y Cayuse que llegaron tan solo al estadio de panoja.

Desde el punto de vista fenológico, las plantas con restricción de lluvia se encontraron en su mayoría en un estadio fenológico más joven del hallado en el grupo sin restricción de lluvia. En el grupo sin restricción de lluvia, cuatro genotipos se encontraban en el estadio grano lechoso; en cambio, en el grupo con restricción de lluvia cinco genotipos aún se encontraban en inicio de floración. Si bien es un hecho que el estrés hídrico influencia el crecimiento de la planta a diferentes niveles, debido a que la cantidad y la calidad del crecimiento dependen del crecimiento celular (Shao et al., 2008), el comportamiento encontrado no concuerda con la estrategia de escape que se menciona poseen algunas plantas anuales, que consiste en acelerar su desarrollo fisiológico para poder alcanzar la madurez lo antes posible (Volaire, 2018).

Rendimiento de materia seca

No existe interacción significativa entre el genotipo de avena y la restricción de lluvia. Sin embargo, se tienen diferencia estadística ($p < 0,05$) para genotipo y restricción de lluvia (tabla 2) comprobando que las plantas que experimentan estrés hídrico van a presentar una reducción en la cantidad total de biomasa ya que se limita el crecimiento y el desarrollo de las plantas más que cualquier otro factor medioambiental (Shao et al., 2008; Volaire, 2018). Este resultado concuerda con Hlavinka et al. (2009) quienes encontraron que la sequía reduce severamente el rendimiento en avenas y también se podría explicar con el porcentaje de emergencia que se observó en campo, que fue mayor para los tratamientos sin restricción de agua, que para los tratamientos con restricción de lluvia observándose menor cantidad de plantas en este último grupo. Esto corrobora que el agua es un factor esencial para todos los estadios fenológicos de la planta desde la germinación hasta la madurez (Shao et al., 2008). Asimismo, la reducción de rendimiento

debido al estrés hídrico podría deberse en parte a la reducción de la fotosíntesis debido al cierre de estomas en las hojas (Mohd, 1986).

Los valores más bajos de rendimiento de materia seca se obtuvieron con los genotipos Junín-Jauja blanca y Cayuse, que en promedio fueron de 2,3 y 3,0, respectivamente. Dichos resultados se explican con el bajo porcentaje de germinación que presentaron sus semillas antes de la siembra (tabla 1), que fueron de 22 y 30 respectivamente. A pesar de tener valores de germinación muy bajos, se decidió no realizar ningún tipo de ajuste en la densidad de siembra, lo que se reflejó posteriormente en la emergencia de plantas donde hubo una menor cantidad en las parcelas de dichos genotipos y se comprobó que el estrés hídrico es un factor limitante en la germinación (Da Silva Oliveira et al., 2020) y en la fase de crecimiento durante el establecimiento de la planta (Shao et al., 2008; Sourour et al., 2017), pero que la cantidad de pérdida en términos de rendimiento depende de la duración e intensidad del estrés a la que son sometidas (Zhao et al., 2020).

Tabla 2. Resultados de rendimiento (ton MS/ha) y fenología al momento del corte

Genotipo	Restricción		Promedio
	0 %	60 %	
INIA901 Mantaro15	4,4a ± 1,8	3,6b ± 2,0	4,0 ± 1,7
	Grano lechoso	Inicio de floración	
INIA902 Africana	5,3a ± 2,0	3,1b ± 1,6	4,2 ± 2,0
	Grano lechoso	Grano lechoso	
INIA903 Tayco	4,3a ± 1,0	2,6b ± 0,6	3,4 ± 1,2
	Grano lechoso	Inicio de floración	
Junín-Jauja blanca	2,9a ± 1,6	1,7b ± 0,4	2,3 ± 1,2
	Panoja	Panoja	
Centenario	4,1a ± 0,5	4,2b ± 0,6	4,1 ± 0,5
	Inicio de floración	Inicio de floración	
Junín-Tarma negra	4,2a ± 1,7	2,9b ± 1,7	3,5 ± 1,7
	Inicio de floración	Inicio de floración	
Junín-Jauja negra	4,7a ± 1,3	4,3b ± 0,9	4,5 ± 1,0
	Grano lechoso	Inicio de floración	
Cayuse	4,2a ± 0,5	1,7b ± 1,2	3,0 ± 1,6
	Panoja	Panoja	
Promedio	4,3a ± 0,7	3,0b ± 1,0	

(a,b) Promedios con letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) a la prueba de Tukey.

Altura de planta

No existe interacción significativa entre el genotipo de avena y la restricción de lluvia en cuanto a altura de planta a pesar de que se sabe que la disminución del crecimiento es uno de los primeros efectos que se pueden medir sobre el estrés hídrico (Da Silva Oliveira et al, 2020), sin embargo, el genotipo de avena tiene efecto significativo sobre esta variable (tabla 3). Los dos genotipos con menor altura fueron Junín-Jauja blanca y Cayuse con 69,3 cm y 64,7 cm, respectivamente, las cuales coinciden con tener el estadio fenológico más joven de todo el experimento llegando tan solo al estadio de panoja. Con ello se concluye que el crecimiento es uno de los procesos fisiológicos más sensibles al estrés por sequía debido a que hay una reducción de la presión de turgencia que básicamente es la que provoca la expansión y crecimiento celular en la planta (Shao et al., 2008).

Estudios reportan resultados de altura promedio de 145 cm (Noli & Ricapa, 2010), 130 cm (Halanoca & Argote, 2007), 126 cm (Montoya, 2017) y de 95 cm (Bartl et al., 2007). Estos autores presentan alturas de planta mayores a lo encontrado en este estudio que fue de 94,3 cm como promedio, lo que podría atribuirse a que la siembra fue tardía. Generalmente, la siembra para avena forrajera se realiza en el mes de diciembre junto con el inicio de las lluvias, pero para este estudio se sembró a principio de febrero del siguiente año desaprovechando más de un mes de lluvias que podían haber contribuido con el crecimiento de las plantas.

Tabla 3. Resultados de altura de planta (cm)

Genotipo	Restricción		Promedio
	0 %	60 %	
INIA901 Mantaro15	97,5 ± 17,3	91,1 ± 11,6	94,3a ± 15,0
INIA902 Africana	95,8 ± 17,0	80,5 ± 14,2	88,1ab ± 17,3
INIA903 Tayco	82,0 ± 10,5	74,4 ± 16,7	78,2ab ± 14,3
Junín-Jauja blanca	77,3 ± 14,5	61,3 ± 8,1	69,3b ± 14,2
Centenario	72,9 ± 13,1	83,2 ± 12,7	78,0ab ± 13,8
Junín-Tarma negra	76,7 ± 12,3	75,6 ± 11,6	76,1ab ± 11,8
Junín-Jauja negra	79,6 ± 14,8	80,9 ± 16,0	80,3ab ± 15,3
Cayuse	74,9 ± 16,9	54,5 ± 15,2	64,7b ± 19,0
Promedio	82,1 ± 17,0	75,2 ± 17,4	

(a,b) Promedios con letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) a la prueba de Tukey.

Proteína cruda

No existe interacción significativa entre el genotipo de avena y la restricción de lluvia, pero la restricción de lluvia tiene efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el porcentaje de proteína cruda (tabla 4). La avena forrajera con restricción de lluvia tiene mayor porcentaje de proteína cruda que la avena sin restricción de lluvia con 17,0 y 12,7, respectivamente. Fenológicamente, dentro del grupo con restricción de lluvia la mayoría de las plantas se encontraban en un estadio más joven que el grupo sin restricción, lo que contribuye a que el contenido de proteína cruda sea mayor para este último grupo debido a que mientras la planta se desarrolla el contenido de proteína disminuye (Dubljevic et al., 2020). Los datos hallados coinciden con lo dicho por Mohd (1986) indicando que la calidad del forraje en plantas sometidas a estrés hídrico es generalmente mayor que las plantas con buena disposición de agua debido a la mayor proporción de hoja: tallo en las plantas estresadas.

Asimismo, autores como Gifford y Jensen (1967), Walgenbach et al. (1981) y Qadir et al. (2019) encontraron que el contenido de proteína cruda aumenta cuando la planta sufre estrés hídrico. Mohd (1986) indicó que en las gramíneas, como la avena, el estrés ocurrido desde etapas vegetativas tempranas podría tener un efecto positivo en la calidad del forraje al reducir tanto la elongación de los tallos, como la floración y mantener un mayor contenido de nitrógeno en las plantas estresadas que en las plantas con buena disponibilidad de agua que han florecido y madurado rápido, por lo que la proporción hoja:tallo es mayor en las plantas estresadas dando lugar a una mayor cantidad de proteína. Sin embargo, discrepa de Dhindsa y Cleland (1974) quienes informaron que el estrés hídrico en la avena causa una disminución en el contenido de proteína de sus tejidos.

Tabla 4. Resultados de proteína cruda en base seca (%)

Genotipo	Restricción		Promedio
	0%	60%	
INIA901 Mantaro15	13,3b \pm 4,7	17,2a \pm 0,7	15,2 \pm 3,7
INIA902 Africana	10,4b \pm 0,5	13,6a \pm 5,1	12,0 \pm 3,7
INIA903 Tayco	12,6b \pm 0,9	17,8a \pm 1,2	15,2 \pm 3,0
Junín-Jauja blanca	15,6b \pm 2,4	18,2a \pm 2,1	16,9 \pm 2,5
Centenario	12,4b \pm 3,4	14,5a \pm 1,9	13,4 \pm 2,7
Junín-Tarma negra	14,1b \pm 3,2	17,3a \pm 0,7	15,7 \pm 2,8
Junín-Jauja negra	11,9b \pm 4,7	18,7a \pm 1,3	15,3 \pm 4,8
Cayuse	11,1b \pm 3,2	19,2a \pm 0,8	15,1 \pm 4,9
Promedio	12,7b \pm 3,1	17,0a \pm 2,7	

(a,b) Promedios con letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) a la prueba de Tukey.

Fibra detergente neutro

La FDN no está significativamente ($p < 0,05$) influenciada por la restricción de lluvia ni por los genotipos de avena (tabla 5). Todos los valores de FDN se encontraron por debajo de lo reportado por Bartl et al. (2009), Ramírez et al. (2013) y Contreras et al. (2020) que fueron de 58,4 %; 55,3 % y 46,7 %, respectivamente, debido a que estos autores analizaron las plantas durante el estadio fenológico de grano lechoso; en cambio para este estudio, las plantas en su mayoría eran más jóvenes y se sabe que a mayor edad de la planta el contenido de fibra también es mayor (Dubljevic et al., 2020).

En cinco de los genotipos de avena (INIA901 Mantaro15, INIA902 Africana, INIA903 Tayco, Junín-Jauja blanca, Junín-Jauja negra) los tratamientos con restricción de lluvia tuvieron menor FDN que los tratamientos sin restricción de lluvia, esto se explica por el estado fenológico más joven y la mayor proporción de hoja:tallo que hay en las plantas estresadas. Una mayor cantidad de hojas asegura un menor contenido de FDN, ya que las hojas son menos fibrosas que los tallos. Asimismo, esto coincide con un estudio realizado por Mohd (1986) de cuatro legumbres donde las plantas con menor porcentaje de fibra cruda fueron las que crecieron bajo un mayor estrés hídrico. Los resultados difieren con ciertos autores como Qadir et al. (2019), Ferreira et al. (2021) y Haberman et al. (2018) quienes estudiaron el efecto del estrés por sequía y reportaron un aumento en el porcentaje de FDN en sorgo, maíz y *Megathyrus maximus* (Jacq.) B.K.Simon & S.W.L.Jacobs (Poaceae), respectivamente.

En promedio, el porcentaje de fibra detergente neutro de los tratamientos sin y con restricción de lluvia fue de 41,1 % y 41,3 % respectivamente, ambos sin diferencia estadística ($p < 0,05$). Sin embargo, este resultado se puede explicar con lo hallado por Mohd (1986) para el caso de alfalfa, donde la concentración de lignina de la pared celular no fue afectada significativamente por el estrés hídrico, y dado que la lignina es uno de los componentes de la FDN (junto con la celulosa y hemicelulosa) es posible que tampoco la FDN se vea afectada.

Tabla 5. Resultados de fibra detergente neutro en base seca (%)

Genotipo	Restricción		Promedio
	0 %	60 %	
INIA901 Mantaro15	41,2 ± 4,1	38,5 ± 3,6	39,8 ± 3,8
INIA902 Africana	41,8 ± 5,0	41,4 ± 3,1	41,6 ± 3,7
INIA903 Tayco	43,8 ± 3,4	42,7 ± 3,7	43,2 ± 3,3
Junín-Jauja blanca	37,4 ± 3,8	35,0 ± 2,9	36,2 ± 3,3
Centenario	41,2 ± 2,0	44,5 ± 4,6	42,9 ± 3,6
Junín-Tarma negra	40,6 ± 2,1	44,4 ± 5,1	42,5 ± 4,1
Junín-Jauja negra	42,1 ± 3,8	41,0 ± 4,3	41,6 ± 3,7
Cayuse	40,8 ± 6,1	42,8 ± 7,8	41,8 ± 6,4
Promedio	41,1 ± 1,8	41,3 ± 3,2	

Digestibilidad *in vitro* aparente de la materia orgánica

La DIVMO de los genotipos de avena no está significativamente ($p < 0,05$) influenciada por la restricción de lluvia (tabla 6). A pesar de no haber diferencias estadísticamente significativas, hay una tendencia a que el grupo sin restricción de lluvia tenga mayor DIVMO que el grupo con restricción como se observa en su promedio de 71,5 y 67,8, respectivamente. Esto no concuerda con lo reportado por Snaydon (1972) quien mencionó que tanto las hojas como los tallos de plantas sometidas a estrés hídrico tienen mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y que la mayor digestibilidad de las partes de la planta junto con la mayor proporción de fracciones digestibles, como las hojas y flores, producen un incremento en la digestibilidad general de la planta cuando se le somete a estrés hídrico. Y tampoco coincide si se tiene en cuenta que fenológicamente el nivel sin restricción de lluvia se encontraba en un estadio más adulto y por ende debería tener menor DIVMO. Por otro lado, autores como Ferreira et al. (2021) mencionaron que el estrés por sequía en plantas de maíz disminuye la DIVMS en los tallos pero que no tiene efecto en las hojas, así mismo Haberman et al. (2018) hallaron una reducción de la DIVMS cuando estudiaron el efecto del déficit de agua sobre *M. maximus*.

Tabla 6. Resultados de digestibilidad *in vitro* aparente de la materia orgánica (%)

Genotipo	Restricción		Promedio
	0 %	60 %	
INIA901 Mantaro15	68,5 ± 3,3	67,1 ± 0,6	67,8 ± 2,2
INIA902 Africana	73,3 ± 7,6	68,6 ± 5,1	70,9 ± 6,3
INIA903 Tayco	65,8 ± 5,7	67,5 ± 10,7	66,7 ± 7,7
Junín-Jauja blanca	73,7 ± 2,1	74,0 ± 7,8	73,8 ± 5,1
Centenario	69,9 ± 1,0	63,3 ± 9,4	66,6 ± 7,0
Junín-Tarma negra	76,1 ± 8,4	62,4 ± 10,0	69,3 ± 11,2
Junín-Jauja negra	70,1 ± 4,8	70,0 ± 4,6	70,1 ± 4,2
Cayuse	74,2 ± 7,1	69,6 ± 9,1	71,9 ± 7,7
Promedio	71,5 ± 15,3	67,8 ± 15,4	

Conclusiones

El rendimiento de materia seca se ve afectado negativamente cuando hay un 60 % de restricción de lluvia. El valor nutritivo de las avenas solo se vio afectado en su porcentaje de proteína cruda, el cual aumentó significativamente ($p < 0,05$). Los genotipos que mejor resisten la sequía, tomando en cuenta tanto el rendimiento como su valor nutritivo, son Junín-Jauja negra y Centenario.

Agradecimientos

Los autores agradecen a FONDECYT que le otorgó a la autora una beca de estudios de postgrado que le permitió participar en esta investigación. Asimismo, al Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) por proporcionar los fondos principales para la ejecución de presente trabajo.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento y quienes están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- ANKOM. (2005). *In Vitro True Digestibility using the DAISY II Incubator*. https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/IVDMD_0805_D200.pdf
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (2005). *Official methods of analysis 15th Edition*. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Bartl, K., Gomez, C., Gamarra, J., & Hess, H-D. (2007). *Potencial de las especies forrajeras locales y mejoradas para la alimentación de ganado*. Lima, Perú.
- Bartl, K., Gamarra, J., Gómez, C., Wettstein, H., Kreuzer, M. & Hess, H. (2009). Agronomic performance and nutritive value of common and alternative grass and legume species in the Peruvian highlands. *Grass and Forage Science*, 64(2), 109-121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2008.00675.x>
- Canales, F., Rispaíl, N., García-Tejera, O., Pérez de Luque, A., & Prats, E. (2019). *Physiological and anatomical root traits conditioning drought tolerance in oats*. <https://digital.csic.es/handle/10261/208330>
- Cardona-Iglesias, J. L., Castro-Rincón, E., Valenzuela-Chirán, M., Hernández-Oviedo, F., & Avellaneda-Avellaneda, Y. (2019). Efecto de la oferta de pasto y ensilaje de avena Altoandina sobre la productividad de vacas lactantes en Nariño-Colombia. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 29(3). <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/32294/33705>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) [CORPOICA] (2018). *Avena Forrajera Altoandina*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35561>
- Contreras, J., Ramírez, H., Tunque, M., Aroni, Y., & Curasma, J. (2020). Productive and nutritional aspects of forages oats and barley alone and consociated to vetch in high Andean conditions. *MOJ Food Processing & Technology*, 8(2), 59-65. <https://medcraveonline.com/MOJFPT/MOJFPT-08-00243.pdf>
- Da Silva Oliveira, D., Da Silveira Silveira, S., Fagundes, R., Wolter, D., Madabula, F., De Oliveira, V., De Araujo, A., Brum, C., Da Maia, L., & De Oliveira, A. (2020). Response of white oat to water stress. *Communications in Plant Sciences*, 10, 18-26. <https://doi.org/10.26814/cps2020003>

- DeNicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., & Carpenter, D. O. (2015). Climate Change and Water Scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, 81(3), 342-353. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005>
- Dhindsa, R. S., & Cleland, R. E. (1975). Water stress and protein synthesis: II. Interaction between water stress, hydrostatic pressure, and abscisic acid on the pattern of protein synthesis in *Avena* coleoptiles. *Plant physiology*, 55(4), 782-785. <https://doi.org/10.1104/pp.55.4.782>
- Dubljevic, R., Markovic, B., Radonjic, D., Stesevic, D., & Markovic, M. (2020). Influence of changes in botanical diversity and quality of wet grasslands through phenological phases on cow milk fatty acid composition. *Sustainability*, 12(6), 6320. <https://doi.org/10.3390/su12166320>
- Ferreira, G., Martin, L., Teets, C., Corl, B., Hines, S., Shewmaker, G., Haro-Marti, M., & Chahine, M. (2021). Effect of drought stress on in vitro neutral detergent fiber digestibility of corn for silage. *Animal and Feed Science and Technology*, 273, 114803. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114803>
- Gifford, R., & Jensen, E. (1967). Some effects of soil moisture regimes and bulk density on forage quality in the greenhouse. *Agronomy Journal*, 59, 75-77. <https://doi.org/10.2134/agronj1967.00021962005900010023x>
- Habermann, E., Dias, E., Ribeiro, D., Delvecchio, G., Olivera, D., Aparecida, M., De Mello, R., Aparecida, K., Braga, M., & Martinez, C. (2018). Warming and water deficit impact leaf photosynthesis and decrease forage quality and digestibility of a C4.. *Physiologia Plantarum*, 165(2), 383-402. <https://doi.org/10.1111/ppl.12891>
- Halanoca, M., & Argote, G. (2007). *Evaluación y selección de gramíneas forrajeras tolerantes a condiciones climáticas del altiplano de Puno*. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/4_5-ARGOTE-GramineasForrajeras.pdf
- Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Zalud, Z., & Mozný, M. (2009). Effect of drought on yield of key crops in Czech Republic. *Agricultural and Forestal Meteorology*, 149(3-4), 431-442. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.09.004>
- International Seed Testing Association [ISTA] (2021). International rules for seed testing, 1, 5-56. <https://doi.org/10.15258/istarules.2021.05>
- Mamani, J., & Cotacallapa, F. (2018). Rendimiento y calidad nutricional de avena forrajera en la región Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(4), 385-399. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.415>
- Mohd, H. (1986). *Water stress effects on forage quality of alfalfa* [Tesis doctoral], Iowa State University, Iowa, EE.UU. <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=9247&context=rtd>
- Montoya, K. (2017). *Características agronómicas y valor nutricional de siete cultivos forrajeros bajo secano en la sierra central* [Tesis de pregrado], Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3254/montoya-quispe-karina-haydee.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000) Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. <http://www.bionica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>
- Noli, C., & Ricapa, F. (2010). *Caracterización agronómica en avena forrajera para producción de semilla en la sierra central del Perú*. Perú: XXXII Reunión anual de producción animal (APPA 2010). <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/391>

- Oliveira, D., Silveira, S., Fagundes, R., Wolter, D., Madabula, F., & Oliveira, V. (2020). Response of white oat genotypes to water stress. *Communications in Plant Sciences*, 10(2020), 18-26. <https://doi.org/10.26814/cps2020003>
- Qadir, M., Bibi, A., Sadaqat, H., & Awan, F. (2019). Physio-biochemical responses and defining selection criteria for drought tolerance in Sorghum bicolor. *Maydica*, 64(2), 8. <https://journals-crea.4science.it/index.php/maydica/article/view/1912>
- Ramirez, S., Dominguez, D., Salmeron, J., Villalobos, G., & Ortega, J. (2013). Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnica de Mexico*, 36(4), 395-403. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.4.395>
- Rivera, J., Palacios, J., & Guerra-Galdo, E. (2020). Nueva variedad de avena (*Avena sativa* L.) multipropósito; resiliente al cambio climático y de ciclo corto. *Agroindustrial Science*, 10(3), 237-272. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.07>
- Sánchez-Martin, J., Canales, F., Tweed, J., Lee, M., Rubiales, D., Gómez-Cardenas, A., Arbona, V., Mur, L., & Prats, E. (2018). Fatty acid profile changes during gradual soil water depletion in oats suggests a role for jasmonates in coping with drought. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1077. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01077>
- Sahu, M., & Tiwari, A. (2020). Genetic variability and association analysis of oat (*Avena sativa* L.) genotypes for green forage yield and other components. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(17), 133-141. <https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i1730762>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2018). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2019). *Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018)*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-78.pdf>
- Shao, H., Chu, L., Jaleel, C., & Zhao, C. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3), 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002>
- Snaydon, R. (1972). The effect of total water supply, and of frequency of application, upon lucerne. I. Dry matter production. *Australian Journal of Agricultural Research*, 23(2), 239-251. <https://doi.org/10.1071/AR9720239>
- Sourour, A., Afef, O., Mounir, R., & Younes, B. (2017). A review: Morphological, physiological, biochemical and molecular plant responses to water deficit stress. *The International Journal of Engineering and Science*, 6(1), 2319-1805. <https://doi.org/10.9790/1813-0601010104>
- Van Soest, P. (1965). Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages. *Journal of Association of Official Agricultural Chemists*, 48(4), 785-790. <https://doi.org/10.1093/jaoac/48.4.785>
- Vidal, M. (2020). *Multi-Agent simulation of climate change adaptation* [Tesis doctoral], Technische Universität Dresden, Dresden, Alemania. <https://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A70882/attachment/ATT-0/>
- Voltaire, F. (2018). A unified framework of plant adaptive strategies to drought: Crossing scales and disciplines. *Global Change Biology*, 24(7), 2929-2938. <https://doi.org/10.1111/gcb.14062>
- Walgenbach, R., Marten, G., & Blake, G. (1981). Release of soluble protein and nitrogen in alfalfa. I. Influence of growth temperature and soil moisture 1. *Crop Science*, 21(6), 843-849. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060011x>

- Yahdjian, L., & Sala, O. (2002). A rainout shelter design for intercepting different amounts of rainfall. *Oecologia*, *133*(2), 95-101. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1024-3>
- Zhao, B., Ma, B., Hu, Y., & Liu, J. (2020) Source-Sink adjustment: A mechanistic understanding of the timing and severity of drought stress on photosynthesis and grain yields of two contrasting oat (*Avena sativa* L.) genotypes. *Journal of Plant Growth Regulation*, *40*, 263-276. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10093-5>