

PRODUCCIÓN Y CALIDAD FORRAJERA DE DOS VARIEDADES DE AVENA (*Avena sativa*) EN CONDICIONES DE CORTE

Production and forage quality of two oats (*Avena sativa*) varieties under cutting conditions

Carlos López Blanco¹, Jorge Gabriel Espinoza Almazán², Marcelo Tarqui Delgado³

RESUMEN

En el altiplano boliviano la avena forrajera (*Avena sativa* L.), es importante en la alimentación pecuaria, y pese a los factores climáticos adversos (sequía y helada) la superficie de producción va en aumento; sin embargo, hay deficiencias en rendimiento y calidad nutricional por el uso de semilla local y manejo inadecuado, una alternativa es el manejo de variedades mejoradas, por sus mejores cualidades. El objetivo del estudio fue evaluar la producción y calidad forrajera de dos variedades de avena en corte, en la Estación Experimental Choquenaira, Viacha, La Paz, Bolivia, durante la campaña 2020/21. Las variedades de avena evaluadas fueron Águila y Texas (SEFO - Cochabamba). Se midieron las variables: rendimiento, calidad nutritiva y costos de producción. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba *t Student* (error $\leq 5\%$). Los resultados en rendimiento, fue 18 % menos que la campaña 2019/20, influyendo el factor sequía, las variedades (Águila y Texas) tuvieron similitud estadística, con rendimientos de MV (38.05 y 39.81 t ha⁻¹) y MS (10.99 y 10.98 t ha⁻¹). La calidad nutritiva también presentó poca variación con parámetros de buena calidad en %CZ (7.19 y 6.01), %PB (7.71 y 7.33), %FB (26.07 y 24.98), %FDA (31.58 y 29.66) y %FDN (54.76 y 53.78) y regular calidad en %EE (1.94 y 1.80). Los costos de producción en las variedades manifestaron, costo unitario de MV (0.26 y 0.25 Bs kg⁻¹), rentabilidad (90.29 y 98.73 %) y B/C (1.90 y 1.99). En conclusión, se encontró un rendimiento similar, la calidad nutritiva con poca variación, y bajo costo de producción, mostrando un balance positivo.

Palabras clave: *Avena sativa*, variedades, rendimiento, calidad nutricional, estado de corte.

ABSTRACT

In the Bolivian highlands, forage oats (*Avena sativa* L.) are important in livestock feeding, and despite adverse climatic factors (drought and frost) the production area is increasing; However, there are deficiencies in yield and nutritional quality due to the use of local seed and inadequate management. An alternative is the management of improved varieties, due to their better qualities. The objective of the study was to evaluate the production and forage quality of two varieties of cut oats, at the Choquenaira Experimental Station, Viacha, La Paz, Bolivia, during the 2020/21 campaign. The oat varieties evaluated were Águila and Texas (SEFO - Cochabamba). The variables were measured: yield, nutritional quality and production costs. For statistical analysis, the student t test was used (error $\leq 5\%$). The results in yield were 18% less than the 2019/20 campaign, influencing the drought factor, the varieties (Águila and Texas) had statistical similarity, with yields of MV (38.05 and 39.81 t ha⁻¹) and DM (10.99 and 10.98 t ha⁻¹). The nutritional quality also presented little variation with good quality parameters in %CZ (7.19 and 6.01), %CP (7.71 and 7.33), %FB (26.07 and 24.98), %ADF (31.58 and 29.66) and %NDF (54.76 and 53.78) and regular quality in %EE (1.94 and 1.80). The production costs in the varieties showed unit cost of MV (0.26 and 0.25 Bs kg⁻¹), profitability (90.29 and 98.73%) and B/C (1.90 and 1.99). In conclusion, a similar yield, nutritional quality with little variation, and low production cost were found, showing a positive balance.

Keywords: *Avena sativa*, varieties, yield, nutritional quality, cutting state.

¹ ✉ Docente Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: [0000-0002-9015-6919](https://orcid.org/0000-0002-9015-6919). lbclopez@umsa.bo

² Docente, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: [0000-0002-8210-2697](https://orcid.org/0000-0002-8210-2697). jorgealmazan_7886arg@hotmail.com

³ Docente Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: [0000-0002-2560-1289](https://orcid.org/0000-0002-2560-1289). mtarqui5@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

Los cereales menores como la avena (*Avena sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare*) y triticale (*Triticum aestivum*), constituyen recursos forrajeros muy importantes dentro la actividad pecuaria de la región andina del país, y debido a las condiciones climáticas adversas en cuanto a humedad y temperatura, estas especies se han constituido en base de la alimentación ganadera (Diez de Medina, 2011). La alimentación del ganado en el altiplano, presenta un particular desafío para una producción sostenida y equilibrada a nivel productor, particularmente durante la época seca del año; lo cual hace que la producción de forrajeras tenga mayor atención en las estaciones de crecimiento vegetativo, que muchas veces está concentrado en solo cuatro meses del año (Chapi, 2017).

La avena es una alternativa en la producción que permite subsanar en muchos casos las carencias de las especies prateses, es más utilizado como forraje en los valles andinos y el altiplano de Bolivia, porque es más productiva, tiene alto valor nutritivo, es de excelente palatabilidad, cosecha oportuna y por su facilidad de conservación como heno o ensilaje, constituye una alternativa para la época crítica del año, donde escases de forraje se manifiesta (Clares, 2014), de ahí que la avena se constituye como un alimento tradicional insustituible para la alimentación de animales.

En el altiplano de La Paz, hay una gran demanda de forraje para complementar la alimentación del ganado bovino lechero y de engorde, razón por lo cual, la mayoría de las familias de la cuenca lechera, cultivan la avena en superficies representativas, con diferentes prácticas culturales tradicionales y mecanizadas, para obtener rendimientos que satisfagan la necesidad de alimentación del ganado. Sin embargo, del cultivo no solo implica su disponibilidad sino también los nutrientes presentes en ella, que permiten definir la aptitud forrajera de la especie vegetal y de esta forma seleccionar mejor los suplementos para optimizar la producción animal individual.

Esta condición, trae consigo la necesidad de comparar el rendimiento productivo y calidad nutricional de dos variedades de avena forrajera en estado de corte (grano lechoso-pastoso) en la Estación Experimental Choquenaira (EECH). Bajo estas consideraciones, los objetivos específicos del

estudio fueron: a) determinar el rendimiento forrajero de dos variedades de avena, b) evaluar la calidad nutritiva de las variedades, c) estimar el costo de producción de las variedades de avena.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El estudio se realizó en la Estación Experimental Choquenaira (EECH), dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés; ubicado en el distrito 3 del municipio de Viacha, provincia Ingavi del departamento de La Paz. Geográficamente situado a 16°42'05" de Latitud Sur y 68°15'15" de Longitud Oeste, a una altura promedio de 3 870 m s.n.m., definida como una zona ecológica de clima templado frío, enmarcada por la alternancia de una estación seca (invierno) y una estación húmeda de cuatro meses (verano). La precipitación pluvial oscila entre 470 a 500 mm año⁻¹; la temperatura anual media de 16.52 °C; la humedad relativa de 70 %; la evapotranspiración aproximada de 1 050 mm año⁻¹, la velocidad del viento del oeste en época seca de 17 km h⁻¹, y del este acompañado de lluvias de 13.5 km h⁻¹. Los riegos climáticos en la zona son la granizada y helada causantes de pérdidas durante el periodo vegetativo de cultivos. Los suelos son aluviales y sedimentarios, con poco desarrollo genético, con textura franco arcilloso a franco limoso y profundo en las planicies, y franco arenoso a franco limoso en las partes altas, fáciles de trabajar, respondiendo de forma excelente a los agregados orgánicos e inorgánicos, aptos para la producción de forrajes (cebada, avena, alfalfa) para la crianza de ganado bovino, ovino y camélido. La vegetación predominante en la zona es *Muhlenbergia incarun*, *Festuca dolichophylla*, *Stipa ichu*, *Bromus unioloides*, *Nassella pubiflora*, *Baccharis incarum*, *Trifolium amabile*, *Tarasa tenella* en la mayoría de los casos (Flores, 2012).

Materiales

Materia prima e insumos, se utilizó la producción de avena forrajera campaña agrícola 2020/2021 (noviembre a abril), en estado de corte (grano lechoso-pastoso) de las variedades Águila y Texas, certificada en la categoría fiscalizada, procedente de SEFO-SAM Cochabamba, lo cual fue sembrada usando la técnica del voleo a mediados del mes de noviembre de la gestión 2020, bajo una densidad promedio de siembra de 85 kg ha⁻¹, luego de una

preparación anticipada de suelos con tractor agrícola (roturado, rastrado y nivelado), con abonado orgánico de estiércol de ganado que se incorpora anualmente (15 a 20 t ha⁻¹) y fertilización química con Fosfato Diamónico y Urea con una dosis de N-P₂O₅-K₂O de 60-30-0 (kg ha⁻¹). Se evaluó una superficie forrajera total de 6.60 ha, de los cuales 3.50 y 3.10 ha, corresponden a las variedades de avena Águila y Texas respectivamente (Laura, 2022).

Equipos, herramientas e infraestructura, en el proceso de evaluación de la biomasa forrajera de las variedades de avena, se utilizó: balanzas digitales, navegador GPS, wincha métrica, herramientas

menores (hoz, orquetas, rastrillos), tablero, planillas de registro entre otros. Asimismo, en el análisis de muestras forrajeras en la determinación de materia seca (MS), se utilizó las instalaciones de laboratorio de forrajes de la EECH, con equipos, materiales e insumos necesarios, y para el análisis de calidad nutritiva (bromatológico) se tomo los servicios del laboratorio de CETABOL en la ciudad de Santa Cruz.

Datos climáticos, durante el periodo de estudio de las forrajeras de avena, se tomó los datos climáticos (Tabla 1) de la Estación Meteorológica digital instalada en la EECH (EECH, 2021).

Tabla 1. Datos climáticos ocurridos durante la investigación (2020 - 2021).

Parámetros climáticos	Meses 2020			Meses 2021				Total, campaña
	O	N	D	E	F	M	A	
Temperatura media (°C)	9.80	10.50	10.60	9.40	9.70	9.60	8.90	9.79
Precipitación media (mm)	28.80	12.10	116.70	167.00	15.20	103.30	30.20	473.30
Humedad Relativa (%)	53.40	50.80	64.20	78.40	77.50	78.10	66.10	66.93

Fuente: Estación Meteorológica Choquenaira (2021).

Metodología

Evaluación de la producción y calidad forrajera en campo

Punto de corte y rendimiento forrajero

En la avena forrajera el momento ideal de cosecha (corte) es cuando el grano llega al estado lechoso-pastoso, evaluando y confirmando estos estados fenológicos hasta los 150 días después de la siembra (abril del 2021). Según Núñez et al. (2010), cuando el corte se realiza en esta etapa, las características nutricionales del forraje, como digestibilidad in vitro, energía neta de lactancia (ENL) y digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN), se consideran de buena calidad.

El rendimiento de la materia verde (MV) se determinó en parcelas, tomando muestras representativas de forraje (10 muestras ha⁻¹), utilizando el método de muestreo aleatorio simple, recorriendo en zig-zag el área del cultivo, con la ayuda de un cuadrante metálico de un metro cuadrado (Cochran, 1993). El total de plantas dentro el cuadrante se cosecho manualmente con hoz a 12 cm de la superficie del suelo (asumiendo la altura de corte con maquinaria); luego, cada muestra obtenida fue pesada in situ, calculando el rendimiento productivo expresado en kg MV m⁻² y t MV ha⁻¹.

Los contenidos de humedad y materia seca (MS) de las variedades de avena forrajera se determinó en el

laboratorio de forrajes de la EECH, mediante el método tradicional de secado de submuestras (100 g MV sobre⁻¹) en estufa a una temperatura de 105 °C por 48 horas, hasta lograr un peso constante. El porcentaje de materia seca (%MS) sirvió para determinar el rendimiento productivo de variedades forrajeras en t MS ha⁻¹ en base al rendimiento de MV.

Calidad forrajera en estado de corte

Se tomó las submuestras de la evaluación del rendimiento productivo forrajero de las variedades de avena, los cuales se mezclaron y homogeneizaron, hasta obtener muestras compuestas de 0.60 kg, luego se depositaron y conservaron en bolsas de polietileno, eliminando todo el aire con el cerrado hermético e identificación respectiva con etiquetas, y con el fin de mantener la temperatura baja de las muestras hasta su arribo al laboratorio se depositó en envase de plastoformo, enviando por vía Courier al laboratorio especializado de CETABOL, para su respectivo análisis químico (bromatológico).

Con la recomendación de Mendieta (2020), se determinó la calidad nutricional de las dos variedades de avena forrajera en estado natural de corte, analizando y comparando la composición química bromatológica en base a las siguientes variables: ceniza (CZ), proteína bruta (PB), extracto etéreo (EE), fibra bruta (FB), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN). Los parámetros de evaluación de la calidad nutricional forrajera se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de evaluación de calidad nutricional forrajera.

Parámetro	Malo (%)	Regular (%)	Bueno (%)	Excelente (%)
Materia Seca (MS)	< 22	22 a 26	27 a 29 36 a 38	30 a 35
Fibra Detergente Neutro (FDN)	> 65	64 a 56	55 a 46	< 45
Fibra Detergente Acido (FDA)	> 45	44 a 39	38 a 32	< 31
Ceniza (CZ)	-	> 10	≤ 10	-
Proteína Bruta (PB)	-	< 7.5	> 7.5	-
Extracto Etéreo (EE)	-	-	> 2	-
Fibra Bruta (FB)	-	-	≤ 33	≤ 30

Fuente: Mendieta (2020).

Costo de producción

Los forrajes cultivados son los alimentos más económicos en la alimentación del ganado en la región del altiplano. Se evaluó los costos de producción de las variedades de avena forrajera, analizando su viabilidad bajo el sistema de producción establecida en la EECH. Para el caso, se consideró los costos variables, como la *mano de obra* (abonado, siembra, labores culturales, cosecha), los *servicios de tracción* con maquinaria, equipos e implementos agrícolas (transporte, preparación de suelos, siembra, cosecha) y los *insumos* (semillas forrajeras, fertilizante orgánicos y químicos, análisis bromatológico de forrajes entre otros).

En la estimación de costos de producción por hectárea de forrajeras bajo el sistema de producción semitecnificado de la EECH, se calculó el costo total de inversión en base a la mano de obra, tracción, servicios e insumos, y un gasto general del 5 % por imprevistos. Por otra parte, se calculó el rendimiento del precio - producto obtenido (Bs kg MV⁻¹) en las variedades de avena forrajera, generando ingresos totales por la venta de los mismos a un costo de mercado local. La diferencia del costo de inversión, menos el ingreso total por la venta del forraje verde, da la utilidad neta de la producción (ganancia o pérdida), analizando la rentabilidad y el Beneficio/Costo (B/C).

Variables del estudio

Las variables del estudio se dividen en dos grupos, las variables espaciales y agronómicas, y las variables de análisis productivo, bromatológico y económico de las variedades de avena forrajera en estado de corte, la naturaleza de estas es de carácter discreto, continuo y nominal categórica según el caso, describiéndose en la Tabla 3.

Tabla 3. Variables de estudio.

*Variables espaciales y agronómicas	**Variables de análisis
- Cobertura: EECH, Viacha - La Paz.	- Rendimiento forrajero de MV y MS (t ha ⁻¹) en estado de corte.
- Clima: frío, región andina.	- Composición y comparación nutricional forrajera de variedades (%CZ, %PB, %EE, %FB, %FDN, %FDA).
- Altura: 3 870 m s.n.m.	- Costos de producción de variedades forrajeras (Bs kg MV ⁻¹ , Rentabilidad, B/C).
- Especie: Avena forrajera.	
- Variedades: Texas y Águila (SEFO - SAM, Cochabamba).	
- Sistema de producción: a secano, siembra al voleo.	
- Manejo: sistema semitecnificado.	

Fuente: Elaboración en base a información primaria y secundaria.

*Proviene del diagnóstico de campo e información de la EECH.

** Pruebas de análisis de variedades forrajeras en estado de corte.

Análisis de datos

En el análisis de rendimiento productivo (MV, %MS y MS) de las variedades forrajeras de avena se utilizó la prueba *t Student*, buscando la diferencia estadística de medias entre las variedades (error $\alpha \leq 5\%$) (Peñafiel, 2009). Referente al análisis de desempeño nutricional fue hallar la diferencia porcentual de los nutrientes y ver la variación entre las variedades de avena, no fue posible realizar el análisis estadístico puesto que se hacían necesarias más replicas. Asimismo, en el análisis de costos de producción forrajera fue hallar la diferencia de costos (Bs kg MV⁻¹) entre las variedades de avena estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de rendimiento forrajero

Materia verde producida

En la Tabla 4, se presenta la comparación de medias para la variable rendimiento forrajero de MV de las dos variedades de avena (kg MV m⁻²), no encontrando

diferencias significativas entre ellas. Sin embargo, la avena Texas tuvo una leve superioridad de rendimiento de MV en 4.42 % respecto a la avena Águila (3.98 y 3.81 kg MV m⁻²), con oferta promedio de 3.89 kg m⁻², equivalente a 38.93 t MV ha⁻¹.

Tabla 4. Producción de materia verde en corte.

Especie forrajera	Estado de corte		Porcentaje de variación
	kg MV m ⁻²	t MV ha ⁻¹	
Avena Águila	3.81	38.05	4.42
Avena Texas	3.98	39.81	
Promedio	3.89	38.93	

El rendimiento promedio obtenido (38.93 t MV ha⁻¹) fue inferior a las campañas agrícolas anteriores (2018/2019 y 2019/2020), donde se obtuvo 44.70 y 47.60 t ha⁻¹ (López, 2020 y 2021), lo que significa una disminución de 12.91 y 18.21 %. Esta reducción, se puede atribuir entre otros a los efectos climáticos adversos que se presentaron en la campaña 2020/2021, con ausencia de lluvias iniciales (octubre, 2020), retrasando la siembra (noviembre, 2020) y en época lluviosa (febrero, 2021) se presentó sequía con precipitación muy baja (15 mm mes⁻¹), afectando el desarrollo de las forrajeras. El cultivo de avena requiere de 300 a 400 mm año⁻¹ (Marshall, 1992 citado por Arango, 2019), y en condiciones de estrés hídrico inhiben su crecimiento y producen una diversidad de cambios morfológicos y bioquímicos que aceleran su senescencia (Dhindsa y Cleland, 1974 citado por Arango, 2019).

Los resultados del estudio son superiores a lo obtenido por Vino (2020), en la Estación Experimental Patacamaya (EEP) con valores de 17.10 y 20.90 t MV ha⁻¹, en las variedades de interés Águila y Texas, en estado lechoso, en parcelas en descanso sin fertilización alguna, del mismo modo Rivera y Roca (2017), reporta 13.70 t MV ha⁻¹ en la variedad Mantaro 15 en estado de grano lechoso, sin fertilización en Huancavelica, Perú, y además Arias et al. (2021a) en Pasco Perú, con rendimientos de 2.53 y 1.94 kg MV m⁻², en las variedades de avena Criolla y Mantaro 15. No obstante los resultados, son inferiores a 58.86 t MV ha⁻¹ reportado por el INIA (2007), para la variedad de avena INIA-903 Tayco Andenes, en estado de grano lechoso.

Los resultados, corroboran lo señalado por Choque (2005), los rendimientos de avena forrajera varían de 15 a 65.30 t MVha⁻¹, con amplias fluctuaciones entre variedades. Asimismo, se puede aseverar que los rendimientos variables del cultivo están influenciados

por varios factores, como la ubicación, el genotipo, diversidad climática, la fertilidad de suelos, el tamaño de unidades de producción y la tecnología aplicada, concordando con lo citado por INIA (2006), Clares (2014) y Sánchez et al. (2014).

Materia seca producida

No se encontró diferencias significativas entre las variedades de avena, para la variable %MS, sin embargo, la variedad Águila presentó una leve superioridad en 4.37 % respecto a la variedad Texas; y realizando la conversión a peso de MS, se obtuvo un rendimiento de biomasa promedio de 10.99 t MS ha⁻¹ (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de humedad y materia seca.

Parámetro	Avena		Porcentaje de variación
	Águila	Texas	
Humedad (%)	71.16	72.42	1.74
Materia Seca (%)	28.84	27.58	4.37
t MS ha ⁻¹	10.99	10.98	0.09

Los resultados obtenidos se enmarcan dentro los rendimientos reportado por Sánchez et al. (2014), con valores de 5.30 a 16.65 t MS ha⁻¹, confirmando esta variación productiva por la influencia de factores citados (ubicación, genotipo, clima, suelo, unidad productiva, tecnología), sin embargo, el momento óptimo de cosecha recomendado es el estado de grano lechoso - pastoso, donde todas las variables tanto productivas y de calidad nutricional del cultivo se encuentran en su mejor proporción (Chambi, 2005; Dumont et al., 2005; Ramírez et al., 2013).

Los resultados son próximos a lo obtenido por Catari (2002), en condiciones del altiplano, con valores de 9.93 y 8.16 t MS ha⁻¹ en las variedades Águila y Rotemberger con fertilización orgánica (estiércol de ovino, 5 t ha⁻¹); del mismo modo, el INIA Cusco (2007), con rendimiento de 10.68 t MS ha⁻¹ en la variedad INIA-903 Tayco Andenes. Los resultados están por encima de los obtenidos por Vino (2020), con 5.46 y 6.98 t MS ha⁻¹ en las variedades Águila y Texas; Apaza (2008) y Cabrera (2005), con reportes de 7.40 y 7.31 t MS ha⁻¹ en la variedad Gaviota en la provincia Ingavi y Aroma, La Paz (altiplanos norte y central), y Ochoa (2006), con valores de 6.06 y 8.16 t MS ha⁻¹ en avenas Local y Gaviota, bajo niveles de aplicación de abono de ovino y bovino (60, 80 y 100 kg N ha⁻¹) en el IBTEN, Viacha. Sin embargo, están por debajo de lo obtenido por Tito (2014), con valores de 13.67 y 11.83 t MS ha⁻¹ en las variedades Águila y

Gaviota, en la provincia Ingavi, La Paz. La variación productiva del cultivo de avena se ve influenciada por varios factores que condicionan su rendimiento, tales como los factores biológicos (plagas, enfermedades y malezas), edáficos (nutrientes, pH, textura y estructura) y climáticos (sequía, lluvias, temperatura) (Gutiérrez, 2000 citado por Tito, 2014).

Análisis de calidad nutricional

Los resultados de contenido nutricional en las variedades de avena en estado de corte, en términos generales indica su buena calidad, con una leve ventaja de la avena Águila sobre la Texas, con los siguientes parámetros de calidad comparativa: %CZ (bueno, bueno), %PB (bueno, regular), %EE (regular, regular), %FB (excelente, excelente), %FDA (bueno, excelente), %FDN (bueno, bueno), con variaciones nutricionales mínima de 1.79 % en FDN y máxima de 16.41 % en CZ y los demás parámetros nutricionales entre estos valores de significancia (Tabla 6).

Tabla 6. Calidad nutricional de las variedades de avena en estado de corte.

Parámetros	Estado de corte		Porcentaje de variación
	A. Águila	A. Texas	
Ceniza (CZ) (%)	7.19	6.01	16.41
Proteína Bruta (PB) (%)	7.71	7.33	4.93
Extracto Etéreo (EE) (%)	1.94	1.80	7.22
Fibra Bruta (FB) (%)	26.07	24.98	4.18
Fibra Detergente Acido (FDA) (%)	31.58	29.66	6.08
Fibra detergente Neutro (FDN) (%)	54.76	53.78	1.79

Fuente: Elaborado en base a Mendieta (2020).

Ceniza (CZ)

La CZ para la avena Águila y Texas fue de 7.19 y 6.01 % (Tabla 6), ambos de calidad buena, con ventaja del primero en 16.41 %. Los resultados son similares a los obtenidos por Dumont et al. (2005) con valores de 7.10 y 6.20 % en la avena Llaofen; a Puma (2022), con 7.34 % en la avena Tayco, en estado de heno, y a Guimac (2019), con un promedio de 6.50 % CZ en las variedades Urano, Dorada y Negra. Son superiores a lo reportado por Chambi (2005), Mamani y Cotacallapa (2018) e INIA (2006), con valores de 2.55, 2.70 y 2.55 % para las variedades Águila, Gaviota y Alondra; 5.60 % para la variedad Tayco, y 5.23 y 4.99 % para las variedades Africana y Negra local. Sin embargo, es inferior a lo reportado por INIA

(2007) con valor de 9.20 % para la avena INIA-903 Tayko Andenes.

Proteína Bruta (PB)

La PB en las avenas Águila y Texas (7.71 y 7.33 %) (Tabla 6), son de calidad buena y regular. Los resultados son mayores a los obtenidos por Chambi (2005) con valores de 5.37, 4.58 y 4.19 % en las avenas Águila, Gaviota y Alondra, en la provincia Omasuyos, La Paz; por Ccente (2017), con PB de 3.40 a 5.90 % y 3.38 a 5.85 % en las variedades Mantaro 15 y Urano en Huancavelica, Perú. Los resultados casi similares se reportan por Arias et al. (2021a y (2021b), con 7.10 y 6.80 % y 6.54 y 6.02 % en las variedades Criolla y Mantaro 15 en Sierra Central y Pasco, Perú. Sin embargo, están por debajo de los obtenidos por Mamani y Cotacallapa (2018) con 8.67 % en la variedad Tayco; por Arango (2019), con 10.40 a 19.20 % de PB en 8 genotipos de avena bajo restricción de lluvia (0 – 60 %) en Sierra Central- Perú; por Puma (2022), con 11.45 % en la avena Tayco bajo niveles de urea (0, 50, 100 y 150 kg ha⁻¹) en el Centro Experimental ILLPA, Perú. Las diferencias encontradas se pueden atribuir al estado fenológico, variedad y fertilización (Espitia et al., 2012). Se demuestra también que la avena forrajera, optimiza el rendimiento y valor nutricional, coincidiendo con lo manifestado por Dumont et al. (2005). El contenido de PB en las gramíneas puede variar de 3 a 30 % de estado muy maduro a muy tierno, es decir el contenido de la pared celular esta inversamente relacionado con el contenido de proteínas, el contenido de celulosa suele ser de 20 a 30 % de la MS (Arias et al., 2021a).

Extracto Etéreo (EE)

El EE en la avena Águila y Texas (1.94 y 1.80 %) (Tabla 6), presentan una condición regular. Los resultados son muy inferiores a los resultados de 7.99 % en la variedad Tayco reportado por Mamani y Cotacallapa (2018), a 5.10 y 3.92 % en avena (s/v), reportado por Lima (2004), en época húmeda y seca en Huayrocondo, provincia Los Andes, La Paz y a los valores de 4.90, 4.79, 4.42 y 4.13 % reportados por Puma (2022), en la variedad Tayco en heno bajo niveles de urea en el Centro Experimental ILLPA, Perú. Sin embargo, es superior a los valores de 1.33 y 1.05 % de las variedades Mantaro 15 y Strigosa, en Huancavelica, Perú (Conislla y Quispe, 2019).

Fibra Bruta (FB)

En FB los valores obtenidos en las avenas Águila y Texas fueron de 26.07 y 24.98 % (Tabla 6), los cuales están dentro el rango de excelente, casi similar a lo reportado por Guimac (2019) con FB de 24.42 % en las variedades Urano, Dorada y Negra, bajo dos sistemas de siembra en Chachapoyas, Perú. Asimismo, los resultados obtenidos manifiestan una amplia superioridad a lo reportado por Chambi (2005), con valores de 13.47, 13.86 y 8.24 % en las variedades de avena Águila, Gaviota y Alondra respectivamente.

Fibra Detergente Acido (FDA)

Con respecto a FDA, los valores obtenidos en las avenas Águila y Texas (31.58 y 29.66 %) (Tabla 6), son de calidad buena y excelente, admitiendo para ambas variedades una alta digestibilidad y calidad biológica. Son compatibles con los resultados obtenidos por Lima (2004), con valor FDA de 29.75 % para la avena en época húmeda, por Ramírez et al. (2013), con 30.60 y 27.70 % FDA para los estados fenológicos de grano lechoso-masoso y madurez fisiológica, y por Conislla y Quispe (2019) con 30.49 % FDA en la avena Strigosa en estado de grano pastoso. Es superior a los resultados obtenidos por Arias et al. (2021a), con 19.16 y 20.16 % de FDA en las variedades Criolla y Mantaro 15, por Conislla y Quispe (2019) con contenidos de 26.17 y 27.88 % de FDA en las variedades Mantaro 15 y Silvestre en grano pastoso. La FDA está correlacionada negativamente con la digestibilidad y contenido energético de la MS del forraje; es decir, cuanto mayor sea el índice, el alimento será menos digestible y menos energético (Noreña, 2017).

Fibra Detergente Neutro (FDN)

Los valores obtenidos de FDN de la avena Águila y Texas fue de 54.76 y 53.78 % (Tabla 6) (ambos de buena calidad). El contenido es similar a los valores obtenidos por Ramírez et al. (2015) con 54.90 % FDN en estado de grano lechoso-pastoso, a Conislla y Quispe (2019), con 53.33 % de FDN en la variedad Strigosa. Los resultados son superiores a lo obtenido por Lima (2004), con 42.22 y 48.96 % de FDN (época húmeda y seca), a Mamani y Cotacallapa (2018), con 46.97% FDN en la variedad Tayco, a Arias et al. (2021a) con valores de 36.25 y 38.62 % de FDN en las variedades Criolla y Mantaro 15, y Arango (2019) con valor promedio de 41.20 % FDN en ocho genotipos de avena forrajera. El contenido de FDN, es uno de los criterios más utilizados para determinar la calidad del forraje, puesto que indica la capacidad de consumo del animal y la densidad energética de la dieta. La FDN está básicamente compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, y se la denomina pared celular, se considera que a mayor valor de FDN menor consumo de MS (Almeida, 2014 citado por Diaz y Sedano, 2018). Los forrajes con contenido de FDN < 45 % se consideran de buena calidad, mientras que aquellos con FDN > 56 %, pueden interferir con la digestión y el consumo (Mendieta, 2020).

Análisis de costo de producción

Los costos de producción de variedades de avena en estado de corte (Tabla 7) bajo el sistema de producción semitecnificado en la EECH en condiciones del altiplano, detalla el cálculo de los costos de inversión total (mano de obra, tracción e insumos), el costo unitario de producción (sin utilidad), el costo unitario de venta del producto obtenido (precio de mercado local), el ingreso total por la venta del producto, la utilidad neta generada, el análisis de rentabilidad y beneficio/costo (B/C).

Tabla 7. Costo de producción de variedades de avena en estado de corte.

Variedad	Total inversión (Bs ha ⁻¹)	Costo unitario producción (Bs kg MV ⁻¹)	Costo unitario venta (Bs kg MV ⁻¹)	Total ingreso (Bs ha ⁻¹)	Utilidad neta (Bs ha ⁻¹)	Rentabilidad (%)	Beneficio/Costo (Bs)
Águila	10 015.35	0.26	0.50	19 058.31	9 042.97	90.29	1.90
Texas	10 015.35	0.25	0.50	19 903.64	9 888.29	98.73	1.99
Promedio	10 015.35	0.25	0.50	19 480.98	9 465.63	94.51	1.95

6.96 Bs = 1 USD.

El costo de inversión del proceso de producción del cultivo de variedades de avena hasta el momento de corte (grano lechoso - pastoso) en campo son similares para las dos variedades, reduciendo el costo unitario de producción en la avena Texas en 3.85 % respecto a la avena Águila (0.25 y 0.26 Bs kg MV⁻¹),

debido a su mayor productividad (3.98 y 3.81 kg MV m⁻²); ambas variedades se destinan para su conservación forrajera posterior como ensilaje (mezcla) con el costo producción promedio de 0.25 Bs kg MV⁻¹, reduciendo el costo a un 1.92 %.

El ingreso por la venta de forraje producido a precio de mercado local (0.50 Bs kg MV⁻¹) genera un mayor ingreso total, mayor utilidad neta, mayor rentabilidad y mayor Beneficio/Costo (B/C) en la variedad Texas respecto a la variedad Águila, con promedios de rentabilidad de 94.51 % y B/C de 1.95 Bs (por 1 Bs invertido, se recupera 0.95 Bs). La rentabilidad y B/C obtenida en el estudio está en el rango de aceptable, siendo intermedio a lo obtenido por Puma (2022), con 3.60, 64.65, 160.40 y 151.54 % de rentabilidad y 1.04, 1.65, 2.60 y 2.51 de B/C, los cuales pueden variar en función del comportamiento del precio de los insumos, temporal climático, ataque de enfermedades y plagas, rendimiento productivo entre otros.

CONCLUSIONES

El rendimiento productivo forrajero en MV y MS en las variedades de avena estudiados, no presentaron diferencias significativas con una leve superioridad de la avena Texas respecto a la Águila, con una producción promedio de 38.93 t MV ha⁻¹ y 10.99 t MS ha⁻¹ respectivamente. El análisis químico bromatológico de las variedades de avena expresó una buena calidad forrajera en contenido y valor nutricional, con parámetros de calidad (CZ, PB, EE, FB, FDA y FDN) aceptables para la alimentación del ganado. Los costos de producción de las variedades de avena, son viables con rentabilidad bajo el sistema de producción semitecnificado en la EECH.

BIBLIOGRAFÍA

- Apaza, RG. 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y densidad de siembra de la avena (*Avena sativa* L.) en la provincia Ingavi. Tesis de Grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 93 p.
- Arango, SJS. 2019. Evaluación agronómica y valor nutritivo de avena (*Avena sativa*) bajo condiciones de restricción de lluvia en la sierra central del Perú. Tesis M.Sc. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 36 p.
- Arias, A; Cruz, JC; Pantoja, C; Contreras J; López, M. 2021a. Rendimiento y calidad de Avena sativa asociada con Vicia sativa en la región puna del Perú (en línea). Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 32(5):e21339. Consultado 15 feb. 2022. Disponible en <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i5.21339>
- Arias, A; Cruz, JCA; Pantoja, CE; Yali, F; Bermúdez, WS; Morales, ER. 2021b. Rendimiento forrajero y valor nutritivo de dos variedades de avena sativa (Criolla y Mantaro-15), en la sierra central del Perú (en línea). Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 8(2):54-60. Consultado 18 sept. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.53287/pccm3923xs47i>
- Cabrera, MA. 2005. Evaluación de la producción de forraje en el asocio gramíneas-leguminosas, en la comunidad de Pomasara (altiplano central). Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 78 p.
- Catarí, B. 2002. Evaluación del rendimiento de cinco variedades de avena forrajera (*Avena sativa* L.) con abonamiento de estiércol de ovino en el altiplano central. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 103 p.
- Ccente, I. 2017. Efecto del lombriabono en el cultivo de avena forrajera Mantaro 15 Mejorado y Urano en la comunidad de Pampalanya - Huancavelica. Tesis Lic. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú. 48 p.
- Cochran, W. 1993. Técnicas de muestreo. 9ª Edición. Compañía Editorial Continental, S. A. – CECSA. México.
- Conislla, Y; Quispe, E. 2019. Producción y composición química bromatológica de tres variedades de avena en el distrito y provincia de la región de Huancavelica. Tesis Lic. Huancavelica, Perú. Universidad Nacional de Huancavelica. 37 p.
- Chambi, OO. 2005. Comportamiento agronómico de variedades forrajeras introducidas en avena, cebada y triticale en la subcuenca media del río Keka provincia Omasuyos. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 88 p.
- Chapi, G. 2017. Elaboración de ensilaje en base a especies nativas en comunidades del municipio de Colquencha, departamento de La Paz. Monografía Diplomado. Cochabamba, Bolivia. Universidad Mayor de San Simón. 25 p.
- Choque, JM. 2005. Producción y manejo de especies forrajeras (en línea). 1ra Edición. Editorial Universitaria UNA Puno, Perú. 306 pp. Consultado 18 mar. 2022. Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=1789233&pid=S2313-2957201800040000200009&lng=es
- Clares, A. 2014. Evaluación del comportamiento productivo de tres variedades de avena forrajera (*Avena sativa*) bajo tres dosis de abonado, en la comunidad Chijipina Grande de la provincia Omasuyos del departamento de La Paz. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 84 p.
- Diez de Medina, R. 2011. La ganadería de leche en el altiplano boliviano: Programa de Desarrollo Lechero del Altiplano. La Paz, Bolivia: Boletín informativo. 83 p.
- Dumont, JC; Anrique, R; Alomar, D. 2005. Efecto de dos sistemas de determinación de materia seca en la composición química y calidad del ensilaje directo de avena en diferentes estados fenológicos. Agricultura Técnica 65(4):388-396.
- Estación Experimental Choquenaira. 2021. Consulta y descarga de datos climáticos de la Estación meteorológica digital DAVIS. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.
- Espitia, E; Villaseñor, HE; Tovar, R; Olan, M; Limón, A. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de

- variedades de avena forrajera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(4):771-783.
- Flores, V. 2012. Diagnóstico de la situación actual del sistema de producción de la Estación Experimental Choquenaira. Trabajo Dirigido. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 100 p.
- Guimac, W. 2019. Adaptabilidad de tres variedades de avena forrajera (*Avena sativa* L.), en dos sistemas de siembra, para determinar la composición nutricional, en el distrito Sonche, Amazonas, 2019. Tesis Ing. Agr. Chachapoyas, Perú. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 74 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria). 2006. Avena INIA-902 Africana: nueva variedad forrajera. Puno, Perú. Estación Experimental Illpa. Plegable No. 10.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria). 2007. Avena forrajera INIA-903 Tayko Andenes. Cusco, Perú. Estación Experimental Agraria Andenes. Plegable No. 12.
- López, C. 2020. Métodos de conservación de forrajes: ensilado y heno. La Paz, Bolivia. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Recursos Naturales, Estación Experimental Choquenaira. 30 p. Informe anual de actividades, gestión 2019.
- López, C. 2021. Métodos de conservación de forrajes: ensilado y heno. La Paz, Bolivia. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Recursos Naturales, Estación Experimental Choquenaira. 35 p. Informe anual de actividades, gestión 2020.
- Laura, LT. 2022. Pastos nativos y forrajes introducidos: producción forrajera. La Paz, Bolivia. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Recursos Naturales, Estación Experimental Choquenaira. 28 p. Informe anual de actividades, gestión 2021.
- Lima, EC. 2004. Análisis bromatológico de cinco forrajeras introducidas para determinar su aporte en la alimentación del ganado. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 80 p.
- Mamani, J.; Cotacallapa, FH. 2018. Rendimiento y calidad nutricional de avena forrajera en la región de Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 20(4):385-400.
- Mendieta, F. 2020. Evaluación de la calidad de ensilajes de sorgo mediante la interpretación de análisis bromatológico (en línea). Santa Cruz. Consultado 25 oct. 2022. Disponible en <https://www.facebook.com/unionagronegocios/videos/57337975388448/>
- Noreña, J. 2017. La importancia de la fibra efectiva en la alimentación del ganado (en línea). *Context ganadero*. Consultado 11 feb. 2023. Disponible en <http://www.contextoganadero.com/ganaderiasostenible/>
- Núñez, G; Payán, JA; Peña, A; González, F; Ruiz, O; Arzola, C. 2010. Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 1(2):85-98.
- Ochoa, G. 2006. Evaluación de variedades de avena (*Avena sativa* L.) a diferentes niveles de abonamiento orgánico en el altiplano central. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 80 p.
- Peña, WM. 2009. Estadística aplicada: con ejemplos en Excel, La Paz, Bolivia. Artes gráficas FLOWERS. 124 p.
- Puma, FD. 2022. Producción de avena forrajera (*Avena sativa* L.) con fertilización nitrogenada en el Centro Experimental - ILLPA. Tesis Lic. Puno, Perú. Universidad Nacional del Altiplano. 104 p.
- Ramírez, S; Domínguez, D; Salmerón, JJ; Villalobos, G; Ortega, JA. 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 Fitotecnia Mexicana* 36(4):395-403.
- Rivera, FS.; Roca, L. 2017. Efecto de diferentes proporciones de asociación (*Avena sativa* y *Vicia sativa*) en la producción de forraje. Tesis Lic. Huancavelica, Perú. Universidad Nacional de Huancavelica. 56 p.
- Sánchez, RA; Gutiérrez, H; Serna, A; Gutiérrez, R; Espinoza, A. 2014. Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 5(2):131-142.
- Díaz, P; Sedano, MP. 2018. Evaluación del rendimiento productivo y valor nutricional de la avena forrajera (*Avena sativa*) en dos estados de maduración diferentes en la vereda El Gaital del municipio de Vélez Santander. Trabajo Lic. Vélez Santander, Colombia. UNAD. 53 p.
- Tito, Y. 2014. Evaluación comparativa de variedades de avena (*Avena sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare*) y triticale (*Triticum secale* W.) en las localidades de Choquenaira y Batallas. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 92 p.
- Vino, SJ. 2020. Comportamiento agronómico de variedades de avena (*Avena sativa* L.) y triticale (*Triticum secale*) en la Estación Experimental de Patacamaya. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 78 p.

Artículo recibido en: 15 de noviembre 2022

Aceptado en: 08 de diciembre 2023