

## Nota técnica

# Potencial forrajero de nueve híbridos de maíz en la zona alta lechera de Costa Rica<sup>1</sup>

## Forage production and nutritive value of maize hybrids and local oats in Costa Rica

William Sánchez Ledezma<sup>2</sup>, Carlos Hidalgo-Ardón<sup>2</sup>

### Resumen

En la zona no existen materiales de maíz seleccionados para la producción de forraje, se utilizan variedades criollas de porte alto y ciclo largo, con problemas de volcamiento que dificultan el manejo. El objetivo de este trabajo fue determinar la producción de forraje y la calidad nutritiva de nueve híbridos de maíz (*Zea mays*) en la zona alta lechera de Cartago, Costa Rica, a 2200 m de altitud durante el 2008 y 2009. Se empleó como testigo una variedad criolla de avena (*Avena sativa*) debido a que los ganaderos la utilizan comúnmente como recurso forrajero, en lugar de maíz como suplemento forrajero. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La cosecha se realizó en estado de grano lechoso–masoso (4 y 6,5 meses para la avena y los híbridos de maíz, respectivamente). La avena tuvo rendimientos de materia seca (14 t/ha) y materia seca digestible (8,7 t/ha) superiores ( $P < 0,0001$ ) a los híbridos de maíz (7,8 y 4,9, respectivamente), a pesar de que los híbridos mostraron mayor ( $P < 0,05$ ) porcentaje de materia seca (19,2) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (63,2) que la avena (16,7 y 61,9, mismo orden). El porcentaje de proteína cruda de la avena (14,2) fue mayor ( $P < 0,05$ ) al de los híbridos de maíz (10,9). La variedad de avena criolla presenta mayor recurso forrajero que los híbridos de maíz evaluados.

**Palabras claves:** cereales forrajeros, *Avena sativa*, *Zea mays*.

### Abstract

In the area, there are no selected maize materials for forage production, tall and long-cycle creole maize varieties are used, there are overturning problems that make management difficult. The study was conducted in the dairy highlands of Costa Rica at an altitude of 2200 m, between 2008 and 2009. This study was made in order to compare the forage production and the nutritive value of nine maize hybrids (*Zea mays*) with local oats (*Avena sativa*) in a randomized design of complete blocks and three replicates. Harvesting took place at grain stage called milky-doughy (4 and 6.5 months for oats and maize hybrids). Oats had a dry matter yield (14 t/ha) and dry matter digestibility (8.7 t/ha) higher ( $P < 0.0001$ ) than hybrids (7.8 and 4.9, respectively). Although hybrids showed a higher ( $p < 0.05$ ) percentage

<sup>1</sup> Recibido: 30 de enero, 2017. Aceptado: 27 de abril, 2017. Este trabajo formó parte del proyecto denominado “Mejoramiento de los sistemas de producción agropecuaria con tecnologías compatibles con el ambiente -zona piloto de estudio Plantón-Pacayas en la Subcuenca del Río Birrís, Costa Rica”, mediante financiamiento del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), España.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica. Apartado postal 382 Centro Colón, CRC. [wsanchez@inta.go.cr](mailto:wsanchez@inta.go.cr), [chidalgo@inta.go.cr](mailto:chidalgo@inta.go.cr)



of dry matter (mean 19.2) and *in vitro* dry matter digestibility (mean 63.2), oats had percentages of 16.7 and 61.9 within the same order. The percentage of crude protein in oats (14.2) was higher ( $p < 0.05$ ) than maize hybrids (mean 10.9). The creole oat variety showed a higher forage resource than the evaluated hybrid maize.

**Keywords:** forage cereals, *Avena sativa*, *Zea mays*.

## Introducción

El cultivo del maíz (*Zea mays*) como fuente forrajera y aporte energético, es muy utilizado en la alimentación del ganado vacuno dedicado a la producción de carne y leche en países de América del Norte, América del Sur y Europa. Se considera el “*rey de los ensilados*” por el aporte en contenido de materia seca, azúcares solubles, almidón y capacidad buffer (Martínez, 2003; Martínez-Fernández et al., 2010). Estas cualidades han permitido que países con gran vocación ganadera desarrollen programas de mejoramiento genético, no solo para optimizar la producción de grano, sino también para perfeccionar el potencial y características forrajeras.

En Costa Rica el empleo del maíz como recurso forraje es escaso, a pesar de su amplia adaptación. Aunque en sistemas de lechería especializados de la zona alta lechera (>1500 msnm) y norte del país, su utilización va en aumento, se usan variedades criollas que el agricultor ha mantenido a través de los años, con fines productivos de grano y no forrajeros. Estos materiales presentan buenos rendimientos de materia seca (14,2 a 17,7 t/ha), aunque los ciclos de cosecha son relativamente largos (hasta ocho meses) y plantas muy altas (3,8 m), principalmente en los sitios de mayor altitud (Amador y Boschini, 2000; Elizondo y Boschini, 2001; Boschini-Figueroa y Elizondo-Salazar, 2004). Estas características incrementan el acame y dificulta el manejo, aumentan las pérdidas de biomasa y reducen el rendimiento por hectárea. Por esta razón, los ganaderos de la zona utilizan la avena (*Avena sativa*) como recurso forrajero, por su amplia adaptación (> 1750 msnm), buen rendimiento (8 a 14 t/MS/ha) y corto ciclo de cosecha (entre tres y cuatro meses) (Sánchez y Mesén, 2003; Mesén y Sánchez, 2005). Sin embargo, el aporte de energía neta de lactación de la avena (1,2 Mcal/kg MS) es inferior al del maíz (1,4 Mcal/kg MS) (Sánchez, 2016).

En Costa Rica no existe programa de mejoramiento genético en maíz forrajero, se depende de variedades criollas o importadas con adaptación desconocida, las cuales deben de ser sometidas a evaluaciones previas antes de incorporarlas a los sistemas de producción. Por esta razón, bajo el marco del proyecto titulado “Mejoramiento de los sistemas de producción agropecuaria con tecnologías compatibles con el ambiente -zona piloto de estudio Plantón-Pacayas-, en la subcuenca del río Birrís, Costa Rica, se realizó la presente investigación con el objetivo de determinar la producción de forraje y la calidad nutritiva de nueve híbridos de maíz (*Zea mays*) en la zona alta lechera de Cartago, Costa Rica.

## Materiales y métodos

### Ubicación y siembra

La investigación se realizó en una finca comercial productora de leche en el cantón de Oreamuno, provincia de Cartago, ubicada a 2200 m de altitud, en las coordenadas 9°56'12" latitud norte y 83°49'74" longitud oeste, donde predomina el bosque muy húmedo montano bajo (Bolaños y Watson, 1993); entre noviembre de 2008 y mayo de 2009, periodo durante el cual la precipitación fue de 644 mm y la temperatura varió desde 8,6 a 21,2 °C (IMN, 2008; 2009). El suelo es de origen volcánico del orden Andisol (INTA, 2016), y según el análisis químico realizado, el

porcentaje de saturación de acidez (5,4) es bajo (Bertsch, 1987), lo que no afecta el crecimiento de las gramíneas, debido a que soportan hasta un 25% de saturación (Borel, 1981).

La siembra de los nueve híbridos de maíz y la variedad de avena criolla como testigo local, se realizó en noviembre de 2008, a mínima labranza en un terreno recién cosechado de papa (*Solanum tuberosum*). La siembra de los híbridos fue manual y en hileras distanciadas a 75 cm entre sí y 25 cm entre plantas (53 000 plantas/ha), se utilizaron dos semillas por golpe de siembra a razón de 25 kg/ha de semilla (Amador y Boschini, 2000; Elizondo y Boschini, 2001; Elizondo y Boschini, 2002). La avena se sembró manual y en surcos distanciados a 30 cm entre sí, se depositó la semilla (150 kg/ha) al fondo del surco según lo recomendado por Erol et al. (2009).

Con base en el análisis químico de suelo y los requerimientos del cultivo del maíz (Bonilla, 2008) y de la avena forrajera (Guerrero, 2012), los híbridos de maíz se fertilizaron con 200 N, 75 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 K<sub>2</sub>O y 20 Mg kg/ha, mientras que la avena con 150, 50, 30, 10 y 10 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg y S, respectivamente. En ambos casos, el fósforo, el magnesio, el azufre y la mitad del nitrógeno y del potasio, se aplicaron a la siembra, mientras que la otra mitad del nitrógeno y del potasio, se aplicaron dos meses después.

### Diseño experimental y análisis estadístico

Se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y diez tratamientos, conformados por nueve híbridos de maíz y una variedad criolla de avena. La parcela experimental fue de 15 m<sup>2</sup>, de la cual se tomó una muestra de 3 m lineales ubicados en las hileras centrales de cada parcela para realizar las mediciones y análisis programados.

Los híbridos (Cuadro 1) corresponden al ensayo 08CHTHEW11 proporcionado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), mientras que la variedad criolla de avena fue introducida a Costa Rica hace aproximadamente cincuenta años, la cual está bien adaptada a la zona, a partir de los 1800 m de altitud. La avena se utilizó como testigo local, debido a que los lecheros la utilizan como forraje fresco o ensilado con más frecuencia que el maíz por su alto rendimiento, producción de semilla viable, fácil manejo y corto ciclo de cosecha. Además, en la región no existe una variedad o híbrido de maíz forrajero para utilizar como referente.

**Cuadro 1.** Color del grano y pedigree de los híbridos de maíz evaluados para determinar su potencial forrajero en Pacayas de Cartago, Costa Rica. 2009.

**Table 1.** Grain color and pedigree of the evaluated corn hybrids used in order to determine its forage potential in Pacayas, Cartago, Costa Rica. 2009.

Entrada	Híbrido de maíz	Color del grano	Pedigree
1	BATAN2007-2170-3x4, 4x3	Blanco	B.P.V.C 236-1-2-2-2-1TL-B-B-B-B-B-B/(CML-239/GWIC)-1-23TL-1-1-B
2	BATAN2007-2171-5x6, 6x5	Blanco	P903 C0 H364-1-8TL-3-2-1-1-B-B-B-B-B-B/(CML-239/GWIC)-1-6TL-3-1-B
3	BATAN2007-2172-7x8, 8x7	Blanco	B.P.V.C.317-1-1-4-1-1TL-B-B-B-B-B-B/(CML-239/GWIC)-1-6TL-3-3
4	BATAN2007-2173-9x10, 10x9	Blanco	(B.P.R.L.M.BA91 68-2-2-1-1-3-B-1-B/P800 CS R 13-1TL-1HT-1-1-1-B-1-B-B)-49TL-2-1B-B/CML-349
5	BATAN2007-2174-13x14	Blanco	(CML-239/GWC)-1-16TL-3/CML355// IML-6
6	BATAN2007-2175-15x16	Blanco	(CML-239/GWC)-1-6TL-3/CML-349//CML-244
7	BATAN2007-2176-17x18	Blanco	((B.P.R.L.M.BA91 68-2-2-1-1-3-B-1-B/P800 C5 R 13-1TL-1HT-1-1-1-B-1-B-B)-B-45TL-2-1/P85 C4 F57-2-1-1-1-B-1-B-B-B-B-B)/ CML-244
8	BATAN2007-2177-19x20	Blanco	((B.P.V.C.83-1-1-1/CML-349)-B-30TL-27CML-244)/P87 C5 F95-24-1-1-2-1-B-B-B-B-1-B-B-B-B
9	BATAN2007-2178-21x22	Blanco	((CML-239/GWIC)-1-16TL-3/CML-349)//CML-457

Los datos se sometieron a un análisis de varianza con base en el procedimiento GLM del programa SAS (2002), mediante un diseño de bloques completos al azar, según el modelo descrito a continuación:

$$y_{ij} = \mu + B_i + F_j + \varepsilon_{ij}$$

donde:

$y_{ij}$  = variable dependiente.

$\mu$  = media.

$B_i$  = bloque de parcelas ( $i = 3$ ).

$F_j$  = forraje: híbridos de maíz y avena ( $j = 10$ ).

$\varepsilon_{ij}$  = varianza residual o término del error.

En los casos que la fuente de variación resultó significativa ( $P \leq 0,05$ ), se realizará la prueba de Tukey (5%) para la comparación de medias.

## Muestreo

El muestreo se realizó en las tres hileras centrales de cada unidad experimental con el fin de evitar el efecto de borde (Toledo y Schultze-Kraft, 1982). Los cereales se cosecharon manualmente a 5 cm sobre el nivel del suelo, cuando el grano alcanzó el estado lechoso-pastoso, a los 124 y 198 días para la avena y los híbridos de maíz, respectivamente. Se pesó la producción de biomasa de cada forraje y se cortó a 2 cm de largo para obtener una muestra de 1 kg para realizar los análisis de laboratorio. Las muestras fueron pesadas y secadas a 60 °C durante 48 horas. Posteriormente, se molieron con un tamiz de 1 mm, para realizar los análisis de materia seca, proteína cruda, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido y digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

## Variables en estudio

Se evaluó la altura de planta, producción por hectárea/corte de materia seca (MS) y materia seca digestible (MSD), y los porcentajes de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FND), fibra en detergente ácido (FAD) y digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS). La altura se midió en centímetros, desde el nivel del suelo hasta el punto más alto de la planta, sin estirarla y sin considerar la inflorescencia (Toledo y Schultze-Kraft, 1982).

En cuanto a la producción de biomasa, se cuantificó la producción por corte de MS (t MS/ha) y materia seca digestible (t MSD/ha), mediante los siguientes cálculos matemáticos:

$$t \text{ MS/ha/corte} = \text{toneladas forraje verde} * \text{MS} (\%).$$

$$t \text{ MSD/ha/corte} = t \text{ MS/ha/corte} * \text{DIVMS} (\%).$$

## Análisis de laboratorio

El contenido en materia seca total (MST) se obtuvo por pérdida de peso tras la desecación de  $1,0 \pm 0,1$  kg de pasto verde en estufa a 105 °C por 48 horas. La PC se determinó como nitrógeno Kjeldahl x 6,25, mediante el método de macro Kjeldahl (AOAC, 1990). La FND y FAD se obtuvieron en secuencia, mediante el procedimiento propuesto por Van-Soest y Robertson (1985). Estos análisis se realizaron en el laboratorio de piensos y forrajes del INTA-CR; mientras que la DIVMS se determinó según la técnica de Van Soest y Robertson (1979) en el laboratorio del Centro de Investigación y Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica.

## Resultados y discusión

### Altura de planta

La altura de los híbridos de maíz varió entre 1,40 y 1,63 m, sin diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los mismos. Sin embargo, los híbridos con código de origen BATAN2007-2172-7x8,8x7, BATAN2007-2174-13x14 y BATAN2007-2177-19x20 superaron ( $P < 0,0001$ ) a la avena (1,20 m) (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Altura de planta y producción de forraje de nueve híbridos de maíz y una variedad criolla de avena en Pacayas de Cartago, Costa Rica. 2009.

**Table 2.** Plant height and forrage production of nine corn hybrids and oats in Pacayas, Cartago, Costa Rica. 2009.

Híbrido de maíz	Altura (m)	Materia seca t/ha/corte	Materia seca digestible t/ha/corte
BATAN2007-2170-3x4, 4x3	1,40 <sup>ab</sup>	6,47 <sup>c</sup>	3,99 <sup>d</sup>
BATAN2007-2171-5x6, 6x5	1,53 <sup>ab</sup>	6,47 <sup>c</sup>	4,05 <sup>d</sup>
BATAN2007-2172-7x8, 8x7	1,58 <sup>a</sup>	7,00 <sup>cb</sup>	4,50 <sup>b</sup>
BATAN2007-2173-9x10, 10x9	1,47 <sup>ab</sup>	9,05 <sup>cb</sup>	5,68 <sup>bcd</sup>
BATAN2007-2174-13x14	1,59 <sup>a</sup>	10,05 <sup>b</sup>	6,39 <sup>b</sup>
BATAN2007-2175-15x16	1,45 <sup>ab</sup>	7,34 <sup>cb</sup>	4,81 <sup>bcd</sup>
BATAN2007-2176-17x18	1,45 <sup>ab</sup>	6,11 <sup>c</sup>	3,93 <sup>d</sup>
BATAN2007-2177-19x20	1,63 <sup>a</sup>	9,97 <sup>b</sup>	6,04 <sup>bc</sup>
BATAN2007-2178-21x22	1,55 <sup>ab</sup>	7,71 <sup>cb</sup>	4,90 <sup>bcd</sup>
Avena	1,17 <sup>b</sup>	13,99 <sup>a</sup>	8,65 <sup>a</sup>
Media híbridos	1,52	7,80	4,92
Probabilidad (p)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SE	0,082	0,637	0,394

SE: error estándar / SE: standard error.

<sup>a, b, c y d</sup> Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) / Different letters in each column indicate significant differences ( $p \leq 0,05$ ).

Los materiales de maíz crecieron poco (1,52 m, SD 0,078) al compararlos con el valor de 3,8 m reportado por Amador y Boschini (2000) en el Alto de Ochomogo, con variedades criollas. Este resultado es relevante si se considera que la altura de la planta del maíz está relacionada con el rendimiento de biomasa. Sin embargo, es importante resaltar que, en maíz, altura extrema de planta como la alcanzada con materiales criollos (Amador y Boschini, 2000), favorece el acame, dificultan el manejo e incrementan las pérdidas de forraje. Lo recomendable es seleccionar materiales uniformes y de altura intermedia (2,5 m), como las variedades e híbridos reportadas por Tadeo-Robledo et al. (2012) en México.

### Producción de materia seca

En cuanto a la producción de MS por hectárea y corte, los híbridos de maíz rindieron entre 6,1 y 10,1 t/ha (Cuadro 2), de los cuales, los materiales BATAN2007-2173-9x10,10x9, BATAN2007-2174-13x14 y BATAN2007-

2177-19x20 presentaron producciones moderadas (9,1 y 10,1 t/ha), pero inferiores ( $P > 0,05$ ) a la avena (14 t/ha). Estos rendimientos son semejantes a los reportadas por Elizondo-Salazar y Boschini-Figueroa (2002) y Elizondo-Salazar (2011), en el Alto de Ochomogo, con híbridos y variedades criollas de maíz (10,1 y 13,1 t/ha), pero inferiores a las producciones encontrados por Amador y Boschini (2000) y Boschini-Figueroa y Elizondo-Salazar (2004), en el mismo sitio con variedades criollas (14,2 a 17,7 t/ha). Es importante mencionar que estos rendimientos fueron obtenidos a 1542 m de altitud, mientras que los del estudio fueron a 2200 msnm, lo que podría marcar diferencia sobre el rendimiento de biomasa en el cultivo de maíz, debido a la diferencia de horas luz que existe entre los sitios.

Es importante rescatar que los rendimientos obtenidos en este estudio y los reportados en Costa Rica, se basan en plantaciones con densidades de 53 mil plantas/ha; sin embargo, en otras latitudes, con el fin de incrementar la producción por área, las densidades de siembra varían entre 70 a 90 mil plantas/ha. Tal es el caso de Chile, México y Venezuela, donde, con estas densidades de siembra e híbridos de maíz forrajero, han logrado rendimientos de MS entre 25 y 34 t/ha/corte (Fuentes et al., 2001; Soto et al., 2002; Tadeo-Robledo et al., 2012).

Con respecto a la avena, el rendimiento obtenido por corte se encuentra dentro del rango de 10,9 y 14,4 t/MS/ha reportado en la zona alta de Cartago (Sánchez y Mesén, 2003; Mesén y Sánchez, 2005). En el Estado de Chihuahua en México, Jarado et al. (2014) reportan rendimientos inferiores por corte (entre 5,1 y 6,7 t MS/ha) al evaluar quince variedades de avena forrajera. Situación semejante encontraron en Argentina (entre 3,5 y 5,1 t MS/ha/corte), al estudiar once materiales de avena. Aunque en otro continente (Australia), Bakhsh et al. (2007) encontraron rendimientos ligeramente superiores (entre 12,84 y 18,82 t/MS/ha/corte).

### Producción de materia seca digestible

Al analizar la producción MSD por hectárea y corte, se encontró que los híbridos de maíz rindieron entre 3,9 y 6,4 t/ha. Los híbridos con código BATAN2007-2173-9x10,10x9, BATAN2007-2174-13x14 y BATAN2007-2177-19x20 alcanzaron los mejores rendimientos (5,7, 6,4 y 6,0 t/ha, respectivamente). Sin embargo, ningún híbrido de maíz superó ( $P < 0,05$ ) al logrado con la avena (8,7 t/ha) (Cuadro 2).

A pesar de que la mayoría de los híbridos de maíz presentaron mayor digestibilidad que la avena, el potencial productivo de MSD por año de la avena es superior, debido principalmente a dos razones: al mayor rendimiento *per se* de avena por corte y a su menor ciclo de cosecha, ya que esta se cosechó 74 días antes que los híbridos, lo que significa que al año se puede cultivar un ciclo más de avena en comparación con los híbridos de maíz. Esta es una razón de peso a la hora de seleccionar un forraje en fincas pequeñas, debido a que, en estos sistemas de producción, se requiere forrajes con alto rendimiento de biomasa digestible por unidad de área al año.

### Porcentaje de materia seca

El porcentaje MS de los híbridos de maíz varió entre 18 y 20,8%, valores que difirieron significativamente ( $P < 0,0001$ ) del alcanzado con la avena (16,7%) (Cuadro 3). Dos de los híbridos (BATAN2007-2173-9x10,10x9 y BATAN2007-2177-19x20) que lograron el mayor rendimiento de MS y MSD, también presentaron los mayores contenidos de MS (20,8 y 20,5, respectivamente).

En el Alto de Ochomogo de Cartago, se reportan porcentajes de MS inferiores a los obtenidos en este estudio con híbridos de maíz (11,6 y 13,3%), y semejantes con variedades criollas (21%) (Boschini-Figueroa y Elizondo-Salazar, 2004; Elizondo-Salazar, 2011). Por el contrario, valores superiores, entre 25,4 y 43,6%, se encontraron en Chile y México con híbridos y variedades de maíz forrajero (Fuentes et al., 2001; Soto et al., 2002; Tadeo et al., 2012).

Los porcentajes de MS obtenidos en este estudio fueron bajos, si se toma en consideración que un forraje debe tener como mínimo un 25% para ser ensilado, ya que, de lo contrario, se producen pérdidas de nutrientes mediante los efluentes producto del alto contenido de agua (Martínez, 2003; Alves et al., 2011; Sánchez, 2016). Según lo

**Cuadro 3.** Valor nutritivo de nueve híbridos de maíz y una variedad criolla de avena, para determinar su potencial forrajero en Pacayas de Cartago, Costa Rica. 2009.

**Table 3.** Nutritional value of nine corn hybrids and oats used in order to determine its forage potential in Pacayas, Cartago, Costa Rica. 2009.

Híbrido de maíz	Porcentaje (%)				
	MS	PC	DIVMS	FND	FAD
BATAN2007-2170-3x4, 4x3	18,8 <sup>b</sup>	10,0 <sup>e</sup>	61,7 <sup>e</sup>	65,1 <sup>a</sup>	34,9 <sup>b</sup>
BATAN2007-2171-5x6, 6x5	18,7 <sup>b</sup>	9,7 <sup>e</sup>	62,3 <sup>de</sup>	62,4 <sup>abc</sup>	34,1 <sup>bc</sup>
BATAN2007-2172-7x8, 8x7	19,1 <sup>b</sup>	12,0 <sup>bc</sup>	64,3 <sup>b</sup>	60,8 <sup>bcd</sup>	31,6 <sup>e</sup>
BATAN2007-2173-9x10, 10x9	20,8 <sup>a</sup>	11,7 <sup>c</sup>	62,8 <sup>cd</sup>	62,4 <sup>abc</sup>	33,5 <sup>cd</sup>
BATAN2007-2174-13x14	19,1 <sup>b</sup>	11,0 <sup>d</sup>	63,6 <sup>bc</sup>	63,5 <sup>ab</sup>	32,5 <sup>de</sup>
BATAN2007-2175-15x16	18,0 <sup>c</sup>	12,5 <sup>b</sup>	65,6 <sup>a</sup>	57,9 <sup>d</sup>	29,9 <sup>f</sup>
BATAN2007-2176-17x18	19,0 <sup>b</sup>	8,5 <sup>f</sup>	64,2 <sup>b</sup>	61,2 <sup>bcd</sup>	31,7 <sup>e</sup>
BATAN2007-2177-19x20	20,5 <sup>a</sup>	11,7 <sup>c</sup>	60,6 <sup>f</sup>	65,2 <sup>a</sup>	36,3 <sup>a</sup>
BATAN2007-2178-21x22	19,2 <sup>b</sup>	10,7 <sup>d</sup>	63,8 <sup>bc</sup>	61,3 <sup>bc</sup>	32,3 <sup>de</sup>
Avena	16,7 <sup>d</sup>	14,2 <sup>a</sup>	61,9 <sup>de</sup>	59,3 <sup>cd</sup>	34,7 <sup>bc</sup>
Media híbridos	19,24	10,87	63,21	62,20	32,98
Probabilidad (P)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SE	0,106	0,121	0,195	0,666	0,251

MS: materia seca, PC: proteína cruda, DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca, FND: fibra en detergente neutro, FAD: fibra en detergente ácido, SE: error estándar / MS: dry matter, PC: crude protein, IVDMD: *in vitro* dry matter digestibility, FND: neutral detergent fiber, FAD: acid detergent fiber, SE: standard error.

a, b, c, d, e y f Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) / Different letters in each column indicate significant differences ( $p \leq 0,05$ ).

anterior, los forrajes evaluados presentan características para ser utilizados como alimento fresco en los sistemas de producción bovina. En caso que se pretendan ensilar, se sugiere realizar un presecado o marchitamiento del forraje al sol previo, con el fin de incrementar el porcentaje de MS (Chaverra y Bernal, 2000), lo que mejora la fermentación y reduce las pérdidas de nutrientes por efluentes (Martínez, 2003; Alves et al. 2011). Al respecto, Martínez (2003), consideró que previo al ensilaje se puede agregar sustrato con alto contenido de MS, como son la cascarilla de soya, pulpa de cítricos seca, melaza y otros, que además de incrementar el contenido de MS total, aportan energía para las bacterias encargadas de la fermentación.

### Proteína cruda

Los híbridos de maíz alcanzaron contenidos de PC entre 8,5 y 12,5%; BATAN2007-2177-19x20, BATAN2007-2172-7x8,8x7 y BATAN2007-2175-15x16 mostraron los mejores contenidos (11,7, 12,0 y 12,5%). Sin embargo, ningún híbrido superó ( $P < 0,05$ ) a la avena (14,2%) (Cuadro 3).

Los contenidos de PC son altos en comparación al 6,6% que reportaron Boschini-Figueroa y Elizondo-Salazar (2004) en el Alto de Ochomogo con el híbrido de maíz blanco Pioneer 3002 W®, pero semejantes a los encontrados por Elizondo-Salazar (2011) en el mismo sitio con el híbrido blanco Pioneer 3041 (11,8%) y una variedad criolla de grano amarillo (12,1%). En México también se han reportado valores de PC ligeramente inferiores (entre 8 y 9,6%) a los obtenidos en el presente estudio, al evaluar quince híbridos de maíz forrajeros (Núñez et al., 2001). En

el caso de la avena, el porcentaje obtenido se encuentra dentro del rango de 8 y 17,5% encontrado por Sánchez y Mesén (2003) y Mesén y Sánchez (2005), con ocho variedades en la zona alta de Cartago.

Los valores de PC obtenidos en el presente estudio con la avena y los híbridos BATAN2007-2177-19x20, BATAN2007-2172-7x8,8x7 y BATAN2007-2175-15x16, fueron superiores al 10%, lo que en una eventual suplantación forrajera, no compromete la actividad microbiana, siempre y cuando el aporte de energía sea adecuado (Cowan y Lowe, 1998; Rodríguez et al., 2007)

El contenido de PC se reduce considerablemente conforme incrementa la edad de cosecha, tanto en el cultivo de maíz (Boschini y Amador, 2001) como en la avena forrajera (Espitia et al., 2012). El alto contenido de PC encontrado en los híbridos de maíz, en comparación con la literatura citada, probablemente obedece al estado fenológico de la planta al momento de la cosecha (lechoso-pastoso), ya que en esta etapa fisiológica el valor de PC en el maíz aun es alto (Amador y Boschini, 2000; Elizondo-Salazar, 2011). En el caso de la avena, el mayor contenido de PC se alcanza en estado fenológico de embuche e inicio de inflorescencia, con valores que varían entre 12,4 y 23,7%.

### **Digestibilidad *in vitro* de la materia seca**

El porcentaje de DIVMS de los híbridos de maíz varió entre 65,6 y 60,6; BATAN2007-2172-7x8,8x7 (64,3%), BATAN2007-2174-13x14 (63,6), BATAN2007-2175-15x16 (65,6%), BATAN2007-2176-17x18 (64,2%) y BATAN2007-2178-21x22 (63,8) fueron los híbridos que alcanzaron digestibilidades superiores ( $P < 0,0001$ ) a la avena (61,9%).

En Ochomogo de Cartago, se reportaron valores inferiores de DIVMS (47%) a los obtenidos en este estudio con híbridos de maíz (Boschini-Figueroa y Elizondo-Salazar 2004), mientras que con híbridos de maíz forrajero de grano blanco y amarillo en México (Fuentes et al., 2001; Tadeo-Robledo et al., 2012), se encontraron valores semejantes, entre 52 y 69%, respectivamente. Con el cultivo de maíz en Colombia, Jiménez et al. (2005) reportaron un valor superior (71,4%). Valor semejante (70,4%) reportó Jurado et al. (2014), al evaluar trece híbridos forrajeros en Chihuahua, México.

En el caso de la avena, la digestibilidad obtenida fue inferior al rango (61,3 - 85,4%) encontrado en la zona de Cartago al evaluar ocho variedades de avena al inicio de la floración (Sánchez y Mesén, 2003; Mesén y Sánchez, 2005), diferencia que probablemente obedece al estado fenológico de la planta, ya que en el presente estudio la cosecha se realizó a mayor edad, cuando el grano del cereal se encontraba en estado lechoso-pastoso. Situación que concuerda con el hallazgo de Ramírez-Ordóñez et al. (2013), ya que, según estos investigadores, al incrementar la edad de cosecha de la avena forrajera, se aumenta la pared celular, lo que reduce la digestibilidad de la MS. También, en México se reportaron valores superiores (entre 63,3 y 68,7%), con variedades de avena cosechadas en etapa embuche y madurez fisiológica, respectivamente (Ramírez-Ordóñez et al., 2013). Al igual en Estados Unidos los rangos de digestibilidad encontrados (55 a 71,9%) fueron más amplios al valor obtenido en este estudio (Coblentz et al., 2000).

El porcentaje de digestibilidad obtenido con los híbridos de maíz (63%) y la avena (62%) fueron relativamente bajos, si lo comparamos con los valores anteriormente citados para ambos cereales, lo que podría reducir el consumo voluntario de los animales (Chaverra y Bernal, 2000).

### **Fibra neutra detergente**

La FND de los híbridos de maíz fluctuó entre 57,9 y 65,2%, mientras que el de la avena fue de 59,3%. Los híbridos BATAN2007-2175-15x16, BATAN2007-2172-7x8,8x7, BATAN2007-2176-17x18 y BATAN2007-2178-21x22 fueron los que mostraron los porcentajes más bajos (57,9, 60,8, 61,2 y 61,3), valores que no difirieron ( $P < 0,05$ ) de la avena (59,3%) (Cuadro 3). Estos valores fueron semejantes a los reportados por Jiménez et al. (2005) con el

cultivo de maíz (57,1%), pero inferiores a los encontrados con híbridos de maíz y variedades criollas (entre 71,6 a 75,4%) en el Alto de Ochoмого (Boschini-Figueroa y Elizondo-Salazar, 2004; Elizondo-Salazar, 2011). En el caso de la avena, Erol et al. (2009), reportaron contenidos de FND inferiores (53,3%) a los encontrados en el presente estudio. En Canadá se reportaron valores semejantes (59,6%) (Bhandari et al., 2008), mientras que Ramírez-Ordóñez et al. (2013) en México, encontraron valores ligeramente inferiores (40,4 a 55%) a los obtenidos en el presente estudio.

### **Fibra ácido detergente**

El contenido de FAD de los híbridos de maíz varió entre 29,9 y 36,6%, mientras que la avena alcanzó un 34,7%. Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos, y el híbrido BATAN2007-2175-15x16 fue el forraje que alcanzó el menor valor (29,9%), seguido por los híbridos BATAN2007-2172-7x8,8x7, BATAN2007-2176-17x18, BATAN2007-2178-21x22 y BATAN2007-2174-13x14, con valores que variaron entre 31,6 y 32,5%. La avena conjuntamente con el resto de los híbridos, presentaron los porcentajes más altos, con valores que fluctuaron entre 33,5 y 36,3%.

Con respecto a los híbridos de maíz evaluados en este estudio, los valores encontrados fueron inferiores a los reportados por Boschini-Figueroa y Elizondo-Salazar (2004) y Elizondo-Salazar (2011), con híbridos y variedades criollas en el Alto de Ochoмого (entre 39 y 44%), pero similares al valor (29,6%) encontrado por Jiménez et al. (2005) con la variedad de maíz ICA 354 en Colombia. En el caso de la avena, Erol et al. (2009) reportaron valores de FAD ligeramente superiores (39%) a los encontrados en el presente estudio, al igual que Bhandari et al. (2008) en Canadá, con valores que variaron entre 35,7 y 36,8%. Por el contrario, Ramírez-Ordóñez et al. (2013) obtuvieron en México contenidos inferiores (24,4 a 29,3%), con variedades de avena cosechas a madurez fisiológica.

Los híbridos de maíz BATAN2007-2172-7x8,8x7, BATAN2007-2175-15x16 y BATAN2007-2176-17x18 alcanzaron los mayores porcentajes de DIVMS, y menores valores de FND y FAD (Cuadro 3), por lo que, se espera que en caso de ser utilizados como suplementos forrajeros, alcancen mayor aprovechamiento ruminal, ya que la FDN y la capacidad de consumo son inversamente proporcional, mientras que el contenido de FAD está correlacionada con la fracción no digestible del forraje, provocando un efecto de llenado en el rumen (Holland y Kezar, 1995; Maiztegui, 2008).

## **Conclusiones**

Teniendo en consideración las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el presente estudio, se puede concluir que la avena criolla fue superior a los híbridos de maíz en cuanto a producción de MS, MSD y contenido de PC. Sin embargo, es necesario realizar nuevas investigaciones a menor altitud con los tres mejores híbridos de maíz (BATAN2007-2173-9x10,10x9, BATAN2007-2174-13x14 y BATAN2007-2177-19x20), con el fin de evaluar la producción de biomasa en sitios con condiciones de más horas luz y actividad fotosintética.

## **Agradecimientos**

Los autores expresan su agradecimiento al “Proyecto Plantón Pacayas” por su financiamiento, así como al señor Allan Montero Rosabal, propietario de la finca donde se realizó la investigación.

## Literatura citada

- Amador, A.L., y C. Boschini. 2000. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agron. Mesoam.* 11(1):171-177.
- Alves, S.P., A.R. Cabrita, E. Jerónimo, R.J. Bessa, and A.J. Fonseca. 2011. Effect of ensiling and silage additives on fatty acid composition of ryegrass and corn experimental silages. *J. Anim. Sci.* 89:2537-2545. doi:10.2527/jas.2010-3128
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 1990. Official methods of analysis. 15<sup>th</sup> ed. AOAC Int., Arlington, VA, USA.
- Bakhsh, A., A. Hussain, S. Khan, Z. Ali, and M. Imran. 2007. Variability in forage yield of oats under medium rainfall of pothowar tract. *Sarhad J. Agric.* 23:867-870.
- Bertsch, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. 2da ed. Universidad de Costa Rica, San José, CRC.
- Bhandari, S.K., S. Li, K.H. Ominski, K.M. Wittenberg, and J.C. Plaizier. 2008. Effects of the chop lengths of Alfalfa silage and Oat Silage on feed intake, milk production, feeding behavior, and rumen fermentation of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:1942-1958. doi:10.3168/jds.2007-0358
- Bolaños, R., y V. Watson. 1993. Mapa ecológico de Costa Rica, según la clasificación de zonas de vida del mundo de Holdridge. Escala 1:200.000. Centro Científico Tropical, San José, CRC.
- Bonilla, N. 2008. Manual de recomendaciones técnicas del cultivo del maíz. INTA, San José, CRC.
- Borel, R. 1981. Uso de los fertilizantes en pasturas. En: R. Borel, y C. León, editores, Producción y utilización de forrajes en el trópico. CATIE, Turrialba, CRC. p. 58-69.
- Boschini, C., y A.L. Amador. 2001. Degradabilidad ruminal de la planta de maíz forrajero en diferentes edades de crecimiento. *Agron. Mesoam.* 12:89-93.
- Boschini-Figueroa, C., y J. Elizondo-Salazar. 2004. Desarrollo productivo y cualitativo de maíz híbrido para ensilar. *Agron. Mesoam.* 15:31-37. doi:10.15517/am.v15i1.11926
- Chaverra G., y E. Bernal. 2000. Ensilaje en la alimentación de ganado vacuno. Tercer Mundo Editores, Bogotá, COL.
- Coblentz, W.K., K.P. Coffey, J.E. Turner, D.A. Scarbrough, J.S. Weyers, K.F. Harrison, Z.B. Johnson, L.B. Daniels, C.F. Rosenkrans, D.W. Kellogg, and D.S. Hubbell. 2000. Effect of maturity on degradation kinetics of sod-seeded cereal grain forage grown in Northern Arkansas. *J. Dairy Sci.* 83:2499-2511. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)75142-3
- Cowan, R.T., and K.F. Lowe. 1998. Tropical and subtropical grass management and quality. In: Cheney J.H., and J.R. Cherney, editors, Grass for dairy cattle. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, GBR. p. 101-136.
- Elizondo-Salazar, J. 2011. Influencia de la variedad y altura de cosecha sobre el rendimiento y valor nutritivo de maíz para ensilaje. *Agron. Costarricense* 35:105-111.
- Elizondo, J., y C. Boschini. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agron. Mesoam.* 12:181-187.
- Elizondo-Salazar, J.A., y C. Boschini-Figueroa. 2002. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agron. Mesoam.* 13:13-17. doi:10.15517/am.v13i1.13227
- Erol, A., M. Kaplan, and M. Kizilsimsek. 2009. Oats (*Avena sativa*) - common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *Trop. Grasslands* 43:191-196.

- Espitia, E., H.E. Villaseñor, R. Tovar, M. De-la-O, y A. Limón. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3:771-783.
- Fuentes, J., A. Cruz, L. Castro, G. Gloria, S. Rodríguez, y B. Ortíz. 2001. Evaluación de variedades e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para ensilar. *Agron. Mesoam.* 12:193-197.
- Guerrero, J.M. 2012. Guía técnica dirigida en análisis de suelos y fertilización en el cultivo de la avena forrajera". Universidad Nacional Agraria La Molina, Melgar, PER.
- Holland, C., and W. Kezar. 1995. Pioneer forage manual-A nutritional guide. Pioneer Hi-Bred International Inc., Des Moines, IA, USA.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. Boletín meteorológico mensual. IMN, San José, CRC. <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico> (consultado 25 ago. 2016).
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2009. Boletín meteorológico mensual. IMN, San José, CRC. <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>. (consultado 25 ago. 2016).
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2016. Suelos de Costa Rica orden Andisol. Boletín técnico n° 8. INTA, CRC.
- Jiménez P., H. Cortés, y S. Ortíz. 2005. Rendimiento forrajero y calidad del ensilaje de canavalia en monocultivo y asociada con maíz. *Acta Agron.* 54(2):31-36. [http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/110](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/110)
- Jurado P., C.R. Lara, y R.A. Saucedo. 2014. Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Chihuahua, MEX.
- Maiztegui, A. 2008. Los alimentos. Universidad Nacional del Litoral, ESP.
- Martínez, A. 2003. Ensilabilidad de especies pratenses en Asturias y su interacción con el uso de aditivos. Tesis Dr., Universidad de Oviedo, Oviedo, ESP.
- Martínez-Fernández, A., A. Soldado, and F. Vicente, A. Martínez, and B. De-la-Roza. 2010. Wilting and inoculation of *Lactobacillus buchneri* on intercropped triticale-fava silage: effects on nutritive, fermentative and aerobic stability characteristics. *Agric. Food Sci.* 19:302-212. doi:10.2137/145960610794197597
- Mesén, M., y W. Sánchez. 2005. Evaluación agronómica de cereales forrajeros de uso potencial en sistemas de producción de leche de altura. *Alcances Tecnológicos* 3:73-78.
- Núñez, G., R. Faz, M.R. Tovar, y A. Zavala. 2001. Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Téc. Pec. en Méx.* 39:77-88.
- Ramírez-Ordóñez, S., D. Domínguez-Díaz, J.J. Salmerón-Zamora, G. Villalobos-Villalobos, y J.A. Ortega-Gutiérrez. 2013. Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Rev. Fitotec. Mex.* 36:395-403.
- Rodríguez, R., A. Sosa, y Y. Rodríguez. 2007. La síntesis de proteína microbiana en el rumen y su importancia para los rumiantes. *Rev. Cub. Cienc. Agríc.* 41:303-3011.
- Sánchez, W. 2016. Evaluación de pastos y forrajes para la mejora de la alimentación de las vacas lecheras en la zona alta de Costa Rica. Tesis Dr., Universidad de Zaragoza, Zaragoza, ESP.
- Sánchez, W., y M. Mesén. 2003. Evaluación de 13 cereales forrajeros en Oreamuno de Cartago. *Alcances Tecnológicos* 1:79-86.
- SAS. 2002. SAS user's guide: Statistics. Version 9.0. SAS Institute. Inc., Cary, NC, USA.
- Soto, P., E. Jahn, y S. Arredrando. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilar el Valle Central Regado. *Agric. Téc.* 62:255-265. doi:10.4067/S0365-28072002000200008

- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, J. Zaragoza-Esparza, A. Turrent-Fernández, M. Sierra-Macías, y N. Gómez-Montiel. 2012. Forraje y grano amarillo para el valles altos de México. *Agron. Mesoam.* 23:281-288. doi:10.15517/am.v23i2.6490
- Toledo, J.M., y R. Schultze-Kraft. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: J.M. Toledo, editor, Manual para la evaluación agronómica. red internacional de evaluación de pastos tropicales. CIAT, Cali, COL. p. 91-109.
- Van-Soest, P.J., and J.B. Robertson. 1979. Forage fiber analysis. *Agr. Handbook No. 379.* USDA, WA, USA.
- Van-Soest, J.P., and J.B. Robertson. 1985. Analysis of forages and fibrous feeds. Cornell University, Ithaca, NY, USA.