
Potencial forrajero de variedades de maíces costarricenses

Forage potential of varieties of Costa Rican corn

María F. Dittel-Pérez

Estudiante, Escuela de Agronomía
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
ferdit05@hotmail.com

Saúl Brenes-Gamboa

Sede del Atlántico
Universidad de Costa Rica
Turrialba, Cartago, Costa Rica
saul.brenes@ucr.ac.cr

William Sánchez-Ledezma

Dirección de Investigación e Innovación
Instituto Nacional de Transferencia
Agropecuaria (INTA)
Turrialba, Cartago, Costa Rica
wsanchez@inta.go.cr

RESUMEN: Se evaluó el potencial forrajero de maíces costarricenses y la fenología del cultivo. Se registró la altura de la planta, número de hojas y el diámetro del tallo cada 15 días, desde el mes de establecido y hasta el día de la cosecha. El tallo fue la parte de la planta que más aportó (entre 44 y 54 %) a la producción de forraje verde total, seguido de la mazorca (entre 24 y 34 %), mientras que la hoja es la que mayor aporta al rendimiento de materia seca.

PALABRAS CLAVE: producción, maíz, forrajero, calidad, tallo

ABSTRACT: The forage potential of Costa Rican corn was evaluated, the phenology of the crop, the height of the plant, the number of leaves and the diameter of the stem were recorded every 15 days, from the month of establishment and until the day of harvest. The stem was the part of the plant that contributed the most (between 44 and 54 %) to the production of total green forage, followed by the cob (between 24 and 34 %), while the leaf is the one that contributes the greatest to the yield of dry material.

KEYWORDS: production, corn, forage, quality, stem

Recibido: 02-07-21 | Aceptado: 17-08-21

CÓMO CITAR (APA): Dittel-Pérez, M. F., Brenes-Gamboa, S., Sánchez-Ledezma, W. (2022). Potencial forrajero de variedades de maíces costarricenses. *InterSedes*, 23(47), 101-125. DOI 10.15517/isucr.v23i47.47696

Introducción

En las regiones tropicales, y propiamente en Costa Rica, se sabe que los pastos de piso son la principal fuente de alimentación del ganado bovino, sin embargo, aunque existen diversas especies y variedades, no se logran cubrir los requerimientos nutricionales. Esto ocurre debido a que el incremento de la sequía y el exceso de lluvia ocasionados por el cambio climático provocan efectos negativos en el crecimiento y desarrollo fenológico de muchos cultivos, entre ellos los pastos, lo que repercute en la disminución del rendimiento y valor nutritivo (bajo contenido de materia seca (MS)) a causa del elevado contenido de agua (Van Soest, 1994).

Las condiciones adversas como la sequía o el exceso de lluvia afectan la producción de pastos de piso, y cuando no es suficiente para atender la carga animal deseada, existe la necesidad de introducir alimentos externos a base de maíz importado, lo cual aumenta la dependencia de productos externos a la finca, costos de producción y disminuye la rentabilidad (Sánchez, 2015). El uso de alimentos concentrados comprende hasta un 40 % de los costos totales en la producción bovina, por lo que se justifica la importancia de emanciparse de las materias primas importadas y alimentar a los rumiantes con pastos y forrajes producidos *in situ*, los cuales reflejan solamente un 3,5 % de los costos de alimentación (Solano y León, 2005).

El maíz, originario de Mesoamérica, es una excelente fuente de forraje; se considera el “rey de los ensilados” por el aporte energético (altos contenidos de MS, carbohidratos y almidón), bien sea como forraje fresco o ensilado (el cual puede ser almacenado por un tiempo prolongado). Lo anterior es una práctica común en todos los países de agricultura avanzada, ya que contribuye a resolver el problema que plantea la estacionalidad de la producción de pastos frente al constante requerimiento de los animales (Paliwal *et al.*, 2001).

Costa Rica cuenta con aproximadamente 3.292 hectáreas dedicadas al cultivo de maíz de grano blanco, sin embargo, no se utiliza como recurso forrajero, puesto que aún falta un programa de mejoramiento genético con ese propósito. Aunque los ganaderos siembren maíz para forraje, dependen de semilla de variedades criollas que los mismos productores han conservado por años o

de híbridos importados sin previa validación bajo las condiciones propias de la zona, lo que pone en riesgo el éxito de las cosechas (Sánchez, 2015).

El proyecto pretendió determinar el potencial forrajero y los costos de producción de seis variedades costarricenses de maíz en el distrito de Santa Cruz, cantón de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

La investigación se realizó en una finca comercial dedicada a la producción de leche, en el distrito de Santa Cruz, a 13,3 km del centro del cantón de Turrialba, durante el periodo comprendido de septiembre a diciembre de 2017, considerado como lluvioso. La finca se ubica a 1127,3 msnm, en las coordenadas 9°56'94" latitud norte y 83°42'14" longitud oeste. Predomina el clima tropical húmedo, con precipitación anual de 2100 a 5889 mm y una temperatura anual oscilante entre 5°C y 26°C. La zona de vida es de bosque húmedo premontano (Ortiz, 2009). Durante el periodo de evaluación la temperatura osciló entre los 18 y 20°C, con una precipitación total de 1 063 mm y un promedio de humedad relativa, velocidad del viento y radiación de 90,5 %, 0,5 m/s y 11 MJ/m² respectivamente (IMN, 2017).

Previo al establecimiento del ensayo, se tomó una muestra compuesta por el suelo del área experimental a 20 cm de profundidad, posteriormente se llevó al laboratorio del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) para su respectivo análisis químico (cuadro 1).

CUADRO 1
ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO DEL ÁREA EXPERIMENTAL. SANTA CRUZ, TURRIALBA. 2017

	pH	Cmol(+)/L				mg/L				Sat. Acidez (%)	MLO (%)	C (%)	
		K	Ca	Mg	Acidez	P	Fe	Cu	Zn				Mn
Muestra	5,7	0,2	2,2	0,96	0,3	8	126	10	2,8	10	8	17,59	10,2
Óptimo	5,6-6,5	0,2-0,6	4-20	1-5	0,5-1,5	10-20	10-100	2-20	2-10	5-50	10-50		

Los valores de pH, K, Zn y Mn se encuentran dentro del rango óptimo, mientras que P, Ca y Mg son bajos. Sin embargo, las relaciones catiónicas Ca/Mg, Ca/ K, Mg/K y (Ca+Mg)/K se encuentran dentro del rango óptimo. También, el porcentaje de saturación de acidez se encuentra por debajo del 10 %, lo que no afecta el crecimiento y el desarrollo del cultivo (Bertsch, 1995).

Materiales de maíz a evaluar

Se evaluaron las variedades de maíces costarricenses: Los Diamantes 8843, EYN2, JSáenz, Nutrigrano, Upiav-G6 y Proteinta aportadas por el INTA. Se utiliza como testigo local el híbrido comercial HR-960.

Diseño y desarrollo experimental

Para realizar el estudio, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y siete tratamientos, conformados por las seis variedades descritas y el testigo. Se establecieron parcelas experimentales de 30 m² de cada tratamiento. La parcela útil fue definida por tres metros lineales en los tres surcos centrales de cada parcela experimental. El suelo en la finca es del orden andisol, con buenas características físicas y con fertilidad media, lo cual lo hace óptimo para el desarrollo de diversos cultivos, entre ellos los pastos y los forrajes (INTA, 2015).

Se aplicó herbicida glifosato para eliminar el pasto y malezas presentes en el terreno. Previo a la siembra, el terreno se preparó con la rastra, con el objetivo de descompactar y airear el suelo y eliminar malezas. Después de tratar la semilla con las moléculas de carboxin y carbosulfan para evitar problemas de hongos e insectos, se realizó la siembra manualmente en “espeque”, en hileras distanciadas a 0,75 m entre sí, y a 0,20 m entre plantas, con una densidad de 66 665 plantas/ha, para lo cual se utilizan alrededor de 30 kg/ha de semilla. Finalmente, los granos se cubrieron con una delgada capa tierra y se aplicó atrazina como control preemergente de malezas.

Las parcelas fueron fertilizadas según 180 kg/ha N, 75 kg/ha P₂O₅, 20 kg/ha K₂O y 20 kg/ha Mg, con las fórmulas químicas 10-30-10, K-MAG y Urea. El fósforo, potasio, magnesio y la mitad del nitrógeno se aplicaron a la siembra, una cuarta parte del nitrógeno a los 25 y el resto 45 días después del establecimiento. Una vez es-

tablecido el cultivo se aplicó la molécula clorpirifos para el control de cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Metodología de evaluación utilizada

En los forrajes verdes

Fenología del cultivo

Para evaluar la fenología del cultivo, se registró la altura de la planta, número de hojas y el diámetro del tallo cada 15 días, a partir del mes de establecido y hasta el día de la cosecha. Las mediciones se realizaron en 20 plantas, representativas y previamente identificadas en cada tratamiento. La altura de la planta se registró en centímetros desde el nivel del suelo hasta el vértice de la última hoja, el número de hojas, mediante el conteo de hojas sanas totalmente fotosintéticas y hojas hasta con un 50 % de senescencia y el diámetro del tallo en mm a 10 cm desde la base del suelo.

Producción de forraje

Para evaluar la producción de forraje y el valor nutritivo, se cosecharon 4 metros lineales ubicados en las hileras centrales de cada parcela experimental. Los cereales se cosecharon manualmente con “machete” a 5 cm del nivel del suelo, cuando el grano alcanzó el estado lechoso, antes de que alcanzara el estado fenológico ideal identificado como la línea de leche (Bala *et al.*, 2000; Mangado, 2006), debido a volcamiento por exceso de viento. Se registró la producción de forraje verde (FV) en los cuatro metros lineales de cada parcela experimental, al utilizar como unidad de medida kg/metro lineal. Posteriormente, se calculó el rendimiento por hectárea (t/ha), al multiplicar la producción obtenida en cada metro lineal (kg/m) por la cantidad de metros lineales (13 333) que existen en una hectárea de terreno (Castro, 2002).

La producción de MS por metro lineal (kg/m) se determinó al multiplicar el rendimiento obtenido de FV (kg/m), por el porcentaje de MS de cada tratamiento. Se utilizó como unidad de medida las t MS/ha (De la Rosa *et al.*, 2002), al multiplicar el rendimiento de MS por metro lineal (kg/m) por el número de metros lineales que tiene una hectárea (13 333).

Relación: hoja, tallo, mazorca

Para determinar la relación entre las principales partes de la planta; hoja, tallo, mazorca y flor al momento de la cosecha, se seleccionaron dos plantas representativas de cada parcela experimental, al separar y pesar la porción de cada parte de manera individual. Posteriormente, se envió una muestra al laboratorio de cada parte de la planta para determinar el contenido de MS, y así determinar la relación de las mismas en base verde y seca.

Valor nutritivo

Para la determinación del valor nutritivo, se tomó una muestra aleatoria de 1 kg de cada tratamiento y repetición, la cual se envió al Laboratorio de Piensos y Forrajes del INTA, para determinar el contenido de MS, cenizas (CE), proteína cruda (PC), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), lignina (LIG) y digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS).

El contenido de MS (materia parcialmente seca (55 a 65 °C) se determina por tiempo de secado hasta peso constante), se obtuvo por pérdida de peso tras la desecación de 0,5 kg de FV en estufa a 65 °C y 105 °C por 48 horas. Las CE se obtuvieron por incineración de 2,0 g de forraje seco a 550 °C durante 6 horas. La PC se determinó como nitrógeno y se multiplicó por 6.25 mediante el método de macro Kjeldahl (AOAC, 1984) con catalizador CuSO₄ - K₂SO₄ 3,5 de TECATOR, al emplear 1 g de muestra y un digestor DS-20 y un equipo de destilación automático de la misma firma para las sucesivas operaciones de digestión de las materias nitrogenadas, destilación del NH₃ y valoración simultánea del mismo. La FND, FAD, LIG y DIVMS se determinaron en secuencia mediante el procedimiento propuesto por Goering y Van Soest (1970).

Análisis estadístico de los datos

Los datos correspondientes a las características fenológicas de la planta, producción de MS y relación hoja/tallo/mazorca, se sometieron a un análisis de varianza con el procedimiento de modelos lineales, generales y mixtos del programa InfoStat (versión 2018), mediante un diseño de bloques completos al azar, según el modelo descrito a continuación:

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

Donde:

y_{ij} = Variable dependiente.

μ = Media.

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

E_j = Variedad de maíz.

ε_{ij} = Varianza residual o término del error.

El pH, la composición química y digestibilidad *in vitro* de los ensilados, se sometieron a un análisis estadístico por medio del procedimiento de modelos lineales, generales y mixto del programa InfoStat (versión 2018).

Resultados y discusión

Altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas

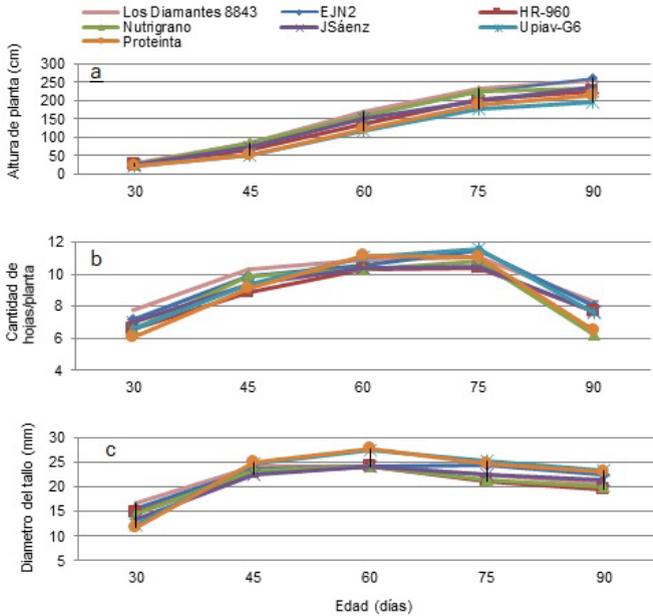
El comportamiento de la altura, diámetro del tallo y número de hojas de los materiales evaluados a las diferentes edades de crecimientos se presenta en la figura 1. Con respecto a la altura de la planta, todos los materiales presentaron un patrón de crecimiento similar, con mayor desarrollo entre los 45 y 75 días, en comparación al inicio y final del periodo evaluado.

Al momento de la cosecha, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos; por ejemplo, las variedades costarricenses EJN2 y Los Diamantes 8843 alcanzaron la mayor altura de planta (260,7 y 254,8 cm, respetivamente). Además, se determinó que el crecimiento del híbrido HR-960 comercial (226,4 cm) fue semejante a las variedades JSáenz (237,9 cm) y Nutri-grano (231,8 cm), y únicamente superior a Proteinta (212,6 cm) y Upiav-G6 (194,8 cm).

Lo anterior es relevante al considerar que la altura de un forraje tiene una correlación positiva con la producción de biomasa. Pero, si la altura de la planta es excesiva, se podría presentar volcamiento y ocasionar pérdidas de forraje e incrementar las labores de manejo y cosecha, por ende, los costos de producción (Sánchez e Hidalgo, 2018).

FIGURA 1

ALTURA DE LA PLANTA (A), DIÁMETRO DEL TALLO (B) Y NÚMERO DE HOJAS VERDES DE LAS PLANTAS DE MAÍZ A DIFERENTES EDADES (C)



Los valores obtenidos son superiores al promedio alcanzado (204 cm) con variedades criollas en la misma zona de Turrialba, pero semejantes al valor promedio (245 cm) reportado en un estudio realizado en Aguas Zarcas de San Carlos con las mismas variedades (Sánchez *et al.*, 2017). El diámetro en la base de la planta osciló entre 19,4 y 23,3 mm, la variedad Upiav-G6 alcanzó el mayor valor y el híbrido HR-960 el valor más bajo (figura 1). Blessing y Hernández (2009) reportan valores semejantes (23,6 mm) a los 60 días de crecimiento, situación que favorece el anclaje de la planta y la reducción de volcamiento. Por el contrario, cuando existen alta densidad de siembra, la competencia entre plantas y la falta de nutrientes, el poco grueso de los tallos y entrenudos más largos, provocan volcamiento en la plantación.

En cuanto a la cantidad de hojas al momento de cosecha (90 días), la variedad Los Diamantes 8843 presentó el mayor número de hojas verdes por planta (8,3) y la Nutrigrano la cantidad más baja (6,2). En relación con el testigo (HR-960), la variedad Los Diamantes tiene 7,2 % más de hojas. El número de hojas por planta puede rondar las 8 o 21 hojas, aunque el promedio oscila entre 8 y 12. Sin embargo, el número de hojas se encuentra sujeto a variedades e híbridos en relación con el número de nudos del tallo, puesto que de cada nudo emerge una hoja (Reyes, 1990; Rodríguez *et al.*, 2016).

Por otro lado, la variedad Proteinta mostró el mayor número de hojas senescentes a cosecha (5,8), mientras que la variedad Los Diamantes alcanzó la menor cantidad (4,0), donde el número de hojas que se pierden al momento de la cosecha varía entre 3 y 5 hojas por planta. Esto debido a la falta de actividad fotosintética, disponibilidad de nutrientes, engrosamiento del tallo, alargamiento de nudos o bien enfermedades foliares (Calzada *et al.*, 2014).

Lo anterior también coincide con lo observado en la figura 1, ya que a los 75 días se dio el punto máximo de presencia de hojas por planta, en general para todos los materiales, en especial Upiav-G6 con 11,6 hojas al momento de la cosecha (90 días). También, se rescata que la variedad que perdió más hojas durante todo el periodo de evaluación fue Nutrigrano (4,6) y el híbrido HR-960 (2,7).

Relación hoja/tallo

En el cuadro 2 se presenta la relación hoja/tallo de cada variedad e híbrido en diferentes edades de crecimiento.

CUADRO 2

RELACIÓN HOJA/TALLO EN BASE SECA OBTENIDOS EN LOS SIETE MATERIALES DE MAÍZ EVALUADOS EN EL EXPERIMENTO

Variedad e híbrido	40 días	60 días	75 días	90 días
HR-960	2,4	1,96	1,06	1,04
Proteinta	2,02	1,15	0,92	0,9
Nutrigrano	1,95	1,24	1,02	1,05
EJN2	1,96	1,24	0,95	1,11
Los Diamantes	1,94	1,32	0,80	0,90
Jsaénz	2,09	1,95	0,99	0,93
Upiac-G6	1,87	1,42	0,96	0,87

Como se observa en el cuadro 2, la variable relación hoja/tallo no presentó diferencias significativas ($P>0,05$) entre tratamientos en ninguna de las edades evaluadas. Según Elizondo y Boschini (2002), cuando la planta se cosecha antes de los 70 días, en el resultado de la relación hoja/tallo predomina la parte foliar. Eso se refleja en el cuadro 3, entre los 45 y 60 días para todos los materiales evaluados, sin embargo, a los 90 días, solamente el material Upiav-G6 mostró la menor relación H:T (0,87), aunque el testigo local HR-960 alcanzó valores semejantes (1,04).

Producción de biomasa

Producción de materia verde y seca

En el cuadro 3, se detalla la producción de materia verde (MV) y materia seca (MS), la cual no mostró diferencias significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos, con rendimientos que oscilaron entre 67,1 y 84,3 t/ha de MV y entre 12,5 y 16,4 t/ha de MS. Las producciones de las variedades tendieron a ser superiores que el híbrido HR-960, excepto la variedad EJN2, situación que coincide con lo reportado por Elizondo y Boschini (2001), quienes indican que, por lo general, los rendimientos de los híbridos son menores a las variedades regionales por ser plantas de porte bajo.

CUADRO 3

PRODUCCIÓN TOTAL DE MATERIA VERDE Y SECA DE VARIEDADES DE MAÍCES COSTARRICENSES E HÍBRIDO COMERCIAL EN SANTA CRUZ DE TURRIALBA DURANTE EL 2017 (90 DÍAS)

Variedad e híbrido	Materia verde Kg/ha	Materia seca Kg/ha
JSáenz	84 334,2	16 438,4
Los Diamantes	82 381,3	14 445,3
Proteinta	78 714,7	14 753,8
Upiav-G6	76 348,1	13 960,7
Nutrigrano	75 364,8	12 531,2
HR-960	74 648,1	16 056,2
EJN2	67 148,3	12 510,5

Los resultados de materia verde obtenidos son similares a los reportados por Amador y Boschini (2000), con variedad criolla de maíz a los 93 días (67,5 t/ha) y 105 días (88 t/ha) en Ochomogo de Cartago. Franco *et al.* (2015) en un estudio realizado en México con híbridos y variedades de maíz forrajero registraron datos semejantes a los del presente estudio, con un rendimiento promedio de 89 t/ha. También, Antolín *et al.* (2009) encontraron rendimientos de FV, entre 52,5 a 85,6 t/ha con una densidad de 85 000 plantas/ha. Sin embargo, Sánchez *et al.* (2017) mostraron rendimientos inferiores (entre 39,1 y 59,7 t/ha) con variedades criollas en las localidades de Agua Zarcas de San Carlos, Turrialba, Guápiles y Monteverde. Sánchez *et al.* (2011) también reportaron rendimientos inferiores con híbridos (26,6 t/ha) y un genotipo criollo (41,3 t/ha). En el mismo estudio, al aumentar la densidad de siembra a 83 333 plantas/ha, el rendimiento del genotipo criollo incrementó a 57,8 t/ha.

Los resultados de biomasa verde obtenidos en el presente estudio se pueden considerar adecuados, ya que un buen rendimiento de materia verde puede oscilar entre 60 y 80 t/ha (Bernal, 1991). Los rendimientos de MS oscilaron entre 16,4 y 12,5 t/ha, alcanzaron la variedad JSáenz el mayor valor y la EJN2 el menor, semejantes al testigo local HR-960 (16,1 t/ha).

Los resultados del presente estudio son similares a los reportados por Amador y Boschini (2000), quienes obtuvieron rendimientos de MS oscilantes entre 11,2 y 15,2 t/ha, a los 107 y 121 días respectivamente, al emplear una variedad criolla de maíz.

De igual forma Boschini y Elizondo (2004) reportan datos de rendimientos de MS (14,1 y 17,9 t/ha) semejantes a los obtenidos en el presente estudio a los 98 y 126 días, respectivamente. Rendimientos superiores de MS (24 t/ha) reportan Zaragoza *et al.* (2019), en México, con híbridos de maíz a los 2240 msnm y con densidades de 70 000 plantas/ha. También, Velázquez (2013) presentó rendimientos mayores, con valores entre 20,1 y 34 t/ha al evaluar variedades de maíz en México a 1835 msnm y con una densidad de 88 000 plantas/ha.

Por otra parte, Méndez (2017) evaluó el potencial forrajero de cuatro variedades costarricenses a diferentes densidades de siembra (133 333, 88 888, 66 666 y 53 333 plantas/ha). Encontró que al incrementar el número de plantas por hectárea aumenta el rendimiento

de materia verde y seca, sin embargo, los datos obtenidos fueron menores que los de este estudio, a pesar de que en ambos casos el número de plantas por punto de siembra eran dos. En el ensayo los rendimientos de MS fluctuaron entre 9,3 y 7,7 t/ha. Probablemente, la cantidad de horas luz recibidas puede influenciar en el rendimiento de biomasa del cultivo de maíz (Sánchez e Hidalgo, 2018).

Otro factor que influye en el rendimiento de la MS es la edad del cultivo al momento de realizar la cosecha, ya que conforme avanza el estado de madurez fisiológico, ocurren diferentes sucesos como la pérdida de humedad en los granos y de la planta entera, lo cual genera un incremento en la producción de MS (INIA, 1994).

Según Sánchez e Hidalgo (2018), los buenos rendimientos de MS rondan entre 14,2 y 17,7 t/ha, por lo que los resultados de MS obtenidos en la investigación actual se pueden considerar como adecuados. Es importante mencionar que debido a la presencia de tormentas tropicales algunas plantas se volcaron, esto pudo provocar que se generaran pérdidas de biomasa, y por ende una disminución en el rendimiento por hectárea. La producción de biomasa del cultivo de maíz está influenciada por diversos factores como genotipo, fertilidad, manejo agronómico y condiciones climáticas, lo anterior puede afectar los rendimientos tanto de variedad como de híbridos de un sitio a otro (Subedi *et al.*, 2006).

Composición porcentual de la planta de maíz

En la figura 2, se presenta la relación tallo/hoja de cada variedad e híbrido evaluado a las diferentes edades de crecimiento. En la figura se observa que a los 45 días el aporte del tallo (entre 51,5 y 59,8 %) a la biomasa total es ligeramente superior a la contribución de la hoja (entre 40,2 y 48,5 %), pero a medida que incrementa la edad de la planta, el aporte del tallo y la mazorca también aumentan. A los 60 días aparecen los primeros brotes florales, los cuales, aportan valores relativamente pequeños (1,3 y 4,8 %) durante todo el ciclo. La edad a la floración encontrada en el presente estudio, es inferior a los 90 días estudiados por Amador y Boschini (2000), con aportes inferiores (1,64 y 0,21 %) a la biomasa total.

A los 75 días de crecimiento se forma la mazorca en su totalidad, conforme incrementa la edad de la planta, el aporte de la mazorca a la biomasa total también intensifica. Caso contrario a los otras partes de la planta, las cuales disminuyen, porque el crecimiento

del tallo y las hojas se paraliza para dar espacio a la formación de la mazorca y grano, lo cual ocasiona que se eleve el porcentaje de mazorca con el avance del estado de madurez. La formación de grano es muy importante debido al aporte energético (Velázquez, 2013). El tallo y la hoja se encuentran en porcentajes superiores a 60 y 20 % respectivamente, datos similares a los obtenidos por Amador y Boschini (2000).

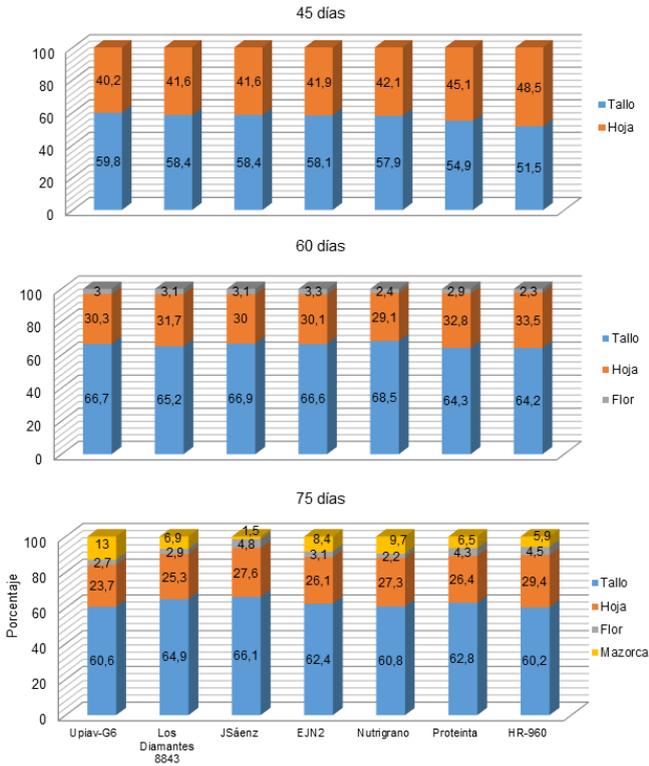
A los 90 días de crecimiento el tallo y la mazorca son las partes de la planta que aportan el mayor porcentaje a la biomasa total, tanto en las variedades como el híbrido. En todos los cultivos el tallo y la mazorca aportan porcentajes semejantes a la biomasa total, con valores que oscilan para el tallo entre 44,3 y 53,7 %, y para la mazorca, entre 23,9 y 34,4 %, mientras que el aporte de las hojas fue inferior (entre 20 y 22 %) y el de la flor insignificante (entre 1,3 a 1,3 %).

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al aporte de las partes de la planta. Sin embargo, se observó una leve tendencia, pues las variedades Proteinta y Los Diamantes 8843 aportaron menor porcentaje de tallo (44,3 y 49,1 % respectivamente) y como consecuencia mayor aporte de mazorca (34,4 y 28,1 %) y menos hojas (20 y 20,1 %), en relación con el híbrido HR-960.

En la figura 3, se observa el aporte de las partes de las plantas a la biomasa total en base seca. A los 45 días de crecimiento, se encontró un mayor aporte de las hojas (entre 62,9 y 69,6 %) en relación con el tallo (30,4 y 37,1 %). Sin embargo, a partir de esta edad el porcentaje de la hoja decrece y el del tallo aumenta hasta los 75 días.

FIGURA 2

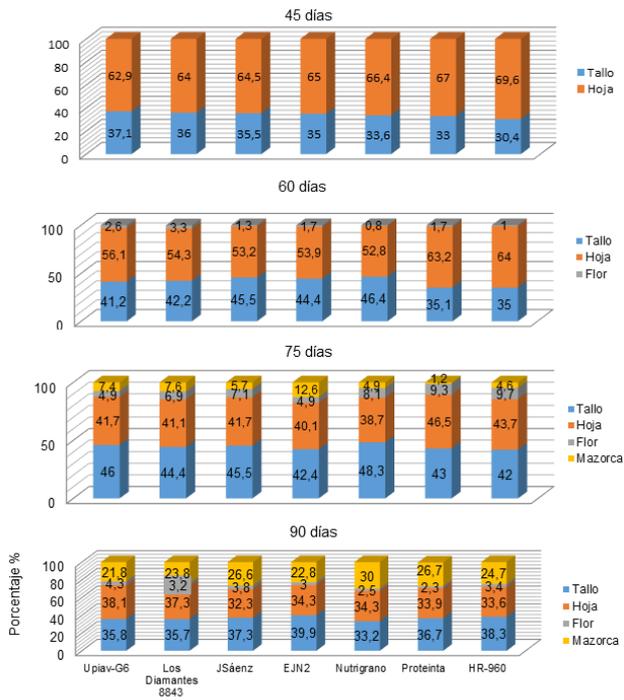
APORTE DEL TALLO, HOJA, MAZORCA Y FLOR A LA BIOMASA TOTAL DE VARIEDADES E HÍBRIDOS DE MAÍZ EVALUADOS EN SANTA CRUZ, TURRIALBA, 2017 (BASE FRESCA).



Los primeros brotes florales aparecen a los 60 días (Figura 2), los cuales aportan alrededor del 10 % a la biomasa total, pero el aporte de la mazorca incrementó. A los 90 días, el aporte de la biomasa total lo conforman el tallo (33,2 %), hojas (32,3 %) y mazorca (21,8 %) en proporciones semejantes, con una ligera inferioridad de la mazorca.

FIGURA 3

APORTE DEL TALLO, HOJA, MAZORCA Y FLOR A LA BIOMASA TOTAL DE VARIETADES E HÍBRIDOS DE MAÍZ EVALUADOS EN SANTA CRUZ, TURRIALBA, 2017 (BASE SECA).



Los resultados observados en la figura tres, son similares a los reportados por Boschini y Elizondo (2004), los cuales indican que la fracción de las hojas disminuye al aumentar la edad y la contribución del tallo decrece al iniciar la producción de la mazorca, lo anterior con relación al tiempo. También, Elizondo y Boschini (2001), al evaluar el efecto de la densidad de siembra en el rendimiento y calidad del cultivo de maíz, encontraron que la producción de MS de las hojas es superior a la del tallo antes de los 70 días de desarrollado el cultivo.

A los 90 días de crecimiento, el tallo y las hojas son las fracciones de la planta que aportan más a la biomasa total, la variedad EJN2 es la que presenta mayor porcentaje de tallo (39,9 %) y la Nutrigrano el menor valor (33,2 %). Con respecto al contenido de hojas, las variedades Upiav-G6 y Los Diamantes 8843 alcanzaron los mayores porcentajes 38,1 y 37,3 %, respectivamente. En cuanto al aporte de la mazorca, la variedad Nutrigrano obtuvo el mayor aporte (30 %), mientras la Upiav-G6 presentó el menor (21,8 %).

Composición química y digestibilidad

Calidad nutritiva de los forrajes antes de ensilar

En el cuadro 4, se presentan los resultados de composición química y digestibilidad *in vitro* de cada parte de la planta antes de ensilar por variedad e híbrido.

CUADRO 4

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DEL TALLO, HOJA, MAZORCA Y FLOR DE LA MS DE VARIEDADES COSTARRICENSES E HÍBRIDO DE MAÍZ COSECHADOS A LOS 90 DÍAS EN SANTA CRUZ DE TURRIALBA, 2017

Variedad e híbrido	Parte de la Planta	% MS	% FDN	% FDA	% LIG	% Celulosa	% PC	% CE	% DIVMS
Los Diamantes		10,21	65,67	36,37	4,77	31,57	5,80	6,87	53,06
Nutrigrano		10,52	59,38	33,13	4,64	31,77	5,70	6,13	59,81
JSáenz	Tallo	8,31	63,44	34,73	4,47	30,25	5,80	6,60	55,00
EJN2		8,44	63,61	36,43	4,68	28,48	6,20	6,60	53,76
Upiav-G6		10,07	62,78	35,40	4,98	30,42	5,50	6,00	58,40
Proteinta		8,97	60,45	33,17	4,22	28,94	5,67	6,27	62,15
HR-960		10,45	64,46	35,20	4,76	30,45	6,17	8,73	54,74
Los Diamantes		21,64	60,05	26,70	3,61	23,09	11,43	10,47	67,79
Nutrigrano		21,57	59,03	25,87	3,25	22,64	12,00	10,03	69,88
JSáenz	Hoja	24,00	58,91	25,90	4,36	21,56	13,50	10,00	68,84
EJN2		20,50	60,27	28,37	4,03	24,35	11,27	10,33	65,19
Upiav-G6		21,72	59,68	25,67	3,38	22,29	13,40	11,40	67,82
Proteinta		21,30	59,99	26,07	3,42	22,70	14,37	10,03	69,17
HR-960		21,52	59,02	26,53	3,06	23,47	11,87	11,43	70,32
Los Diamantes		34,62	62,29	29,50	6,42	23,07	8,30	5,23	54,73
Nutrigrano		34,28	58,71	26,57	6,24	20,33	8,87	6,40	57,40
JSáenz	Flor	35,70	57,93	25,10	5,66	23,98	7,00	4,60	50,30
EJN2		32,88	62,66	29,43	5,46	19,43	7,40	5,03	53,38
Upiav-G6		28,77	60,25	28,83	7,31	21,50	8,37	8,17	57,34
Proteinta		35,69	60,66	28,40	6,18	20,98	9,40	4,50	56,64
HR-960		36,74	57,81	26,80	5,90	22,16	8,53	4,40	58,59
Los Diamantes		10,52	52,89	20,63	2,29	18,33	10,60	4,73	78,79
Nutrigrano		13,02	54,94	22,23	2,18	20,03	9,47	4,10	77,97
JSáenz	Mazorca	11,78	53,53	20,03	1,51	18,49	9,30	4,53	79,05
EJN2		10,27	51,94	20,80	1,78	19,02	10,87	5,43	79,84
Upiav-G6		11,14	55,19	21,90	2,35	19,55	9,47	5,17	74,90
Proteinta		9,76	53,15	16,83	1,93	14,91	8,33	4,07	78,79
HR-960		11,20	49,74	19,00	2,09	16,94	11,13	4,67	80,84

Materia seca total (MST)

La flor es la parte de la planta con mayor contenido de MS, con valores que oscilaron entre 28,8 y 46,7 %, seguido de la hoja (entre 20,5 y 24 %), mientras que el tallo (entre 8,4 y 10,4 %) y la mazorca (entre 9,8 y 13 %) son los que contienen más proporción de agua. A pesar de estos resultados, no se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre tratamientos (cuadro 4).

Según Ruiz *et al.* (2006) el contenido de MS en el forraje de maíz es muy variable, puesto que estará asociado al momento de cosecha, lo cual refleja la madurez de la planta, así como las condiciones climáticas, suelo y manejo agronómico. Por ejemplo, los resultados alcanzados en planta completa (16,80 %-30,50 %) no cumplen con lo reportado por Demanet (2009) de 26 % MS.

Proteína cruda (PC)

Como es de esperar, la hoja es la parte de la planta con mayor contenido de PC, con porcentajes que fluctuaron entre 11,3 y 14,4. La mazorca fue la segunda en importancia (entre 8,4 y 11,1), mientras que la flor (entre 7,0 y 9,4 %) y el tallo (entre 5,5 y 6,2 %), son los que contienen menores valores de PC.

También, se encontró que la hoja fue la única parte de la planta que mostró diferencias significativas ($P>0,05$) en el contenido de PC entre los tratamientos, presentó las variedades Proteinta (14,4 %), JSáenz (13,5 %) y Upiav-G6 (13,4 %) los mayores valores, mientras que en el resto de los materiales los contenidos oscilaron entre 11,4 y 12. En términos generales, los resultados se encuentran dentro de lo reportado por Romero (2004), con variaciones entre 6 %-17 %; del mismo modo, los datos son cercanos a los citados por Demanet (2009), donde la proteína en planta entera es de 6 % a 10 %.

Fibra neutro detergente (FDN)

El contenido de FND presentó diferencias significativas ($P<0,05$) entre las partes de la planta, debido a que los valores encontrados en la mazorca (entre 49, y 54,9 %) fueron inferiores al del tallo (entre 59,4 y 65,7 %), la hoja (entre 68,9 y 60,3 %) y la flor (57,8 y 62,7 %).

Se determinó que las partes de las plantas no mostraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos. Los resultados son semejantes a los mencionados por Romero (2004), ya que cuando se realiza la cosecha a una altura de corte de 15 cm del suelo, el contenido de FDN es de aproximadamente 44,2 % (con rangos de 30 %-58 %) y conforme se incrementa la altura de corte, así disminuye el contenido.

Fibra ácido detergente (FDA)

Al igual que en el caso anterior, se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) entre las partes de la planta, ya que el contenido de FDA de la mazorca (entre 16,8 y 22, 2 %) fue inferior en comparación al tallo (entre 33,1 y 36,4 %), la hoja (25,7 y 28,4 %) y la flor (25,1 y 29,5 %). A pesar de estos resultados, no se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) en tratamientos en cada parte de la planta.

Además, las partes de las plantas no mostraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos. Por otra parte, Romero (2004) reporta valores de FDA para toda la planta de 24,9 % a una altura de corte de 15 cm (aunque los rangos pueden darse entre 20 %-40 %), del mismo modo que FDN, al incrementar la altura de corte, el contenido aumenta.

Celulosa y LIG

El contenido de celulosa también mostró diferencias significativas ($P<0,05$) entre las partes de la planta, ya que el tallo alcanzó mayores valores (entre 30,2 y 31,8 %) en comparación con las otras partes, las cuales presentaron valores entre 14,9 y 24,4 %. Al igual que el caso anterior, entre variedades y el híbrido de maíz no se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) en ninguna de las partes de la planta. Comparado con lo obtenido por Elizondo (2015) los resultados del ensayo son superiores, el autor reportó rangos entre 20,09 %-37,43 %.

La LIG también reflejó diferencias significativas ($P<0,05$) entre las partes de las plantas, ya que la mazorca alcanzó menores contenidos (entre 1,5 y 2,3) que la flor (entre 5,5 y 7,3). El tallo y la hoja presentaron valores intermedios que oscilaron entre 3,4 y 5 %. No

se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre tratamientos en ninguna de las partes de la planta, cuyos valores están dentro del rango definido por Elizondo (2015) (3,34 % - 6,84 %).

Cenizas (CE)

El contenido de CE presentó diferencias significativas ($P<0,05$) entre las partes de la planta, debido a que la hoja alcanzó los mayores valores que fluctuaron entre 10 y 11,4 %, en comparación con la flor (entre 4,4 y 6,4 %) y la mazorca (4,1 y 5,4 %), mientras que el tallo obtuvo valores intermedios entre 6 y 8,7 %. No se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre tratamientos en ninguna de las partes de la planta. Para datos de planta entera los resultados (6,50 %-8,90 %) son superiores a los observados por Gebauer (1994) de 5,54 %.

Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)

Se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) entre las partes de la planta. La mazorca alcanzó la mayor digestibilidad, con valores que oscilaron entre 74,9 y 80,8 %. La hoja fue la segunda en importancia, con porcentajes que fluctuaron entre 65,2 y 70,3 %. Estos valores fueron superiores a los alcanzados con el tallo (entre 53,1 y 62,2 %) y la flor (entre 50,3 y 58,6 %). Entre tratamientos, no se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) en ninguna de las partes de la planta. En el caso de la planta entera, los valores alcanzados se encuentran en un rango de 56,70 %-62,30 %, lo que coincide con los reportados por Gupta *et al.* (2005), con valores entre 52 %-68 %.

Conclusiones y recomendaciones

La planta de maíz incrementó su crecimiento y grosor del tallo entre los 45 y 75 días de crecimiento, momento a partir del cual inicia la etapa reproductiva y la senescencia de las hojas bajas de la planta. A pesar de que la variedad EJM2 alcanzó la mayor altura de la planta, el rendimiento de MS fue bajo en comparación con los otros materiales, debido a problemas de volcamiento de las plantas.

Las variedades J Sáenz y HR-790 son las que más aportan en cuanto a la MST, mientras que la hoja es la que mayor aporta al rendimiento de MS y los mayores contenidos de proteína se presentan en las hojas. Se sugiere realizar la cosecha de los forrajes cuando el grano se encuentra en estado masoso-pastoso o grano media línea de leche, con el objetivo de que el contenido de MS, azúcares solubles y almidones sean los adecuados para obtener un buen ensilaje. Por último, en condiciones agroecológicas similares a la zona donde se realizó el estudio, se recomienda utilizar la variedad JSáenz, debido a su alto rendimiento, adecuada altura de planta y menor costo de producción.

Bibliografía

- Amador, A. y Boschini, C. (2000). Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 171-177.
- Antolín D.M., González R.M., Goñi C.S., Domínguez V.I., Ariciaga G.C. 2009. Rendimiento y producción de gas in vitro de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado. *Técnica Pecuaria en México* 47(4):413-423.
- Bala, M.A., Shavera, R.D., Shinnerson, K.J., Coors, J.G., Lauerc, J.G., Straub, R.J. y Koegel, R.G. (2000). Stage of Maturity, Processing, and Hybrid Effects on Ruminal in Situ Disappearance of Whole-Plant Corn Silage. *Animal Feed Science and Technology* 86, 83-94.
- Bertsch, F. (1995). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. San José, Costa Rica.
- Bernal, J. (1991). *Pastos y forrajes tropicales: Producción y manejo* Unidad de Divulgación y Prensa, Banco Ganadero (2.^a ed.). Bogotá, Colombia.
- Blessing, D.M. y Hernández, G.T. (2009). Comportamiento de variables de crecimiento y rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) var. NB-6 bajo prácticas de fertilización, orgánica y convencional en la finca el plantel. 2007-2008 [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria]. Managua, Nicaragua.
- Boschini, C. y Elizondo, J. 2004. Desarrollo productivo y cualitativo de maíz híbrido para ensilar. *Agronomía Mesoamericana*, 15(1), 31-37.

- Calzada, J.M., Enríquez, J.F., Hernández, A., Ortega, E. y Mendoza, S.I. (2014). Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2), 247- 26.
- Castro, R. (2002). *Ganadería de la leche*. Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- De la Rosa B., Martínez., Argamenteria A. 2002. Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. Área de Nutrición, Pastos y Forrajes. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). Asturias. España. 91-104 pp.
- Demagnet, R. (2009). Híbridos de maíz para ensilaje en la zona sur. En *Es tiempo de ensilaje de maíz*. Bioleche.
- Elizondo, J. y Boschini, C. (2001). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 12(2), 181-187.
- Elizondo, J. y Boschini, C. (2002). Producción de forraje de maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía mesoamericana*, 13(1), 13-17.
- Elizondo, J. (2015). Calidad nutricional y consumo de forraje de maíz (*Zea mays*) y forraje de estrella africana (*Cynodon nlefuensis*) con o sin alimento balanceado en cabras. *Nutrición Animal Tropical*, 9(2), 11-26.
- Franco, J., Gonzáles, A., Pérez, D. y Gonzáles, M. (2015). Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1915-1927.
- Gebauer, A. (1994). *Evaluación de 10 híbridos de maíz forrajero (Zea mayz L.) en la provincia de Valdivia* [tesis de licenciatura, Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias]. Valdivia, Chile. 71p. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fam534e/doc/fam534e.pdf>
- Goering, H. y Van Soest, T P. (1970). Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications). *Agricultural Handbook* (379).
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (2017). *Datos Climáticos*. Estación Monumento Nacional Guayabo, Turrialba. Costa Rica.

- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA]. (1994). Momento de cosecha de maíz para ensilar [Boletín de divulgación n.º 43].
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA]. (2015). Suelos de Costa Rica, orden Andisol, San José, Costa Rica [Boletín Técnico n.º 8].
- Mangado, J. (2006). ¿Cómo realizar correctamente el ensilaje de maíz? *Revista AFIGRA*, (64), 56-62.
- Méndez, M. (2017). *Potencial forrajero de cuatro variedades costarricenses de maíz (Zea mays) evaluadas a diferentes densidades de siembra en Santa Lucía, Barva de Heredia* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional, Costa Rica]. Disponible en: <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/14189?show=full>
- Ortiz, E. (2009). *Informe final de proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Paliwal, R., Granados, G., Lafitte, H. y Violic, A. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. FAO, Departamento de Agricultura, Roma.
- Reyes, C.P. (1990). *El maíz y su cultivo*. Editorial México. Tercera Edición. Distrito Federal, México.
- Rodríguez, L., Guevara, F., Ovando, C., Marto, J.R. y Ortiz R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la región Frailesca de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 137-145.
- Romero, L. (2004). *Silaje de maíz*. Producción bovina. http://produccionbovina.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_ensilajes/05-silaje_maiz.htm.
- Ruiz O., Beltrán R., Salvador F., Rubio H., Grado A., Castillo Y. 2006. Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 40(1): 91- 96
- Sánchez, H.M., Agilar, M.C., Valenzuela, J.N., Sánchez, H.C., Jiménez, R.M. y Villanueva, VC. (2011). Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 281-295.
- Sánchez, W. (2015). *Evaluación de pastos y forrajes para la mejora de la alimentación de las vacas lecheras en la zona alta de Costa Rica* [tesis de doctorado, Base de datos Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España].

- Sánchez, W., Bonilla, N. y Orozco, E. (2017). Evaluación del potencial forrajero y de ensilabilidad de variedades e híbridos costarricenses de maíz [boletín 1]. San José, Costa Rica.
- Sánchez, W. y Hidalgo, C. (2018). Potencial forraje de nueve híbridos de maíz en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 29(1), 11.
- Solano, P. y León, H. (2005). *Análisis de costos de diferentes sistemas de producción de leche en Costa Rica: estudio de casos*. Cámara Nacional de Productores de Leche [presentado en el Congreso Nacional Lechero].
- Subedi, K.D., Ma, B.L. y Smith, D.L. (2006). Response of A Leafy and Non-Leafy Maize Hybrid to Population Densities and Fertilizer Nitrogen Levels. *Crop Science* (46), 1860- 1869.
- Van Soest, P. (1994). *Nutritional Ecology of The Ruminant* (2.^a ed.). Cornell University Press. USA.
- Velázquez, L. (2013). *Evaluación de maíces con características y ambientes diferentes con fines forrajeros en zonas semiáridas* [tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de San Luis Potosí, México].
- Zaragoza, J., Tadeo, M., Espinoza, A., López, C., García, J., Zamudio, B., Turrente, A. y Rosado, F. (2019). Rendimiento y calidad de forraje híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 101-111.