

Adición de nopal y maguey para mejorar el consumo de rastrojo de maíz en cabras

Addition of nopal and maguey to corn stubble improves the voluntary consumption by goats

Francisco Santiago-Hernández¹ , Filogonio Jesús Hernández-Guzmán² , Jorge Urrutia-Morales¹ , Leodan Tadeo Rodríguez-Ortega³ , Mauricio Velázquez-Martínez^{1*} , Lorenzo Danilo Granados-Rivera⁴ 

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Luis. Km. 14.5 Carr. San Luis Potosí – Matehuala, Ejido Palma de la Cruz, CP. 78432. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

²Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México -Texcoco, Chapingo, CP. 56230. Texcoco, Estado de México.

³Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Ingeniería en Producción Animal. Domicilio conocido s/n, CP 42660. Tepatepec, Francisco I. Madero, Hidalgo. México.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo General Terán. km. 31 Carretera Montemorelos - China Exhacienda Las Anacuas, CP. 67400. General Terán, Nuevo León. México.

*Autor de correspondencia: velazquez.mauricio@inifap.gob.mx

Artículo científico

Recibido: 15 de marzo 2024

Aceptado: 16 de enero 2026

RESUMEN. El rastrojo de maíz es un forraje de poca digestibilidad y contenido en proteína, pero alto en fibra, lo que hace que su consumo sea muy limitado. El objetivo fue conocer si la adición de nopal o maguey al rastrojo de maíz incrementa el consumo voluntario de rastrojo cuando se utiliza como suplemento para cabras en pastoreo. Primera prueba, a 10 cabras cruzadas con Nubia de similar peso y edad se les ofreció rastrojo de maíz (R) adicionado con cuatro niveles de nopal (0, 30, 50 y 70%, base húmeda). La segunda prueba, similar a la primera, se reemplazó nopal (N) por maguey (M). Ambos experimentos se realizaron simultáneamente. Tercera prueba, se probaron los suplementos mejor consumidos en cada una de las dos pruebas anteriores (R30:N70 y R30:M70). El consumo de rastrojo fue mejor cuando se le agregó nopal o maguey. A medida que aumentó el nivel de nopal aumentó el consumo de suplemento ($P < 0.0001$) así como el consumo de rastrojo ($P < 0.0001$); de igual forma sucedió cuando se sustituyó nopal por maguey ($P < 0.0001$). En la prueba 3, la adición de nopal incremento el consumo de suplemento y rastrojo en mayor medida que cuando se utilizó maguey (348.5 N vs 271.9 M g MS día⁻¹). Se concluye que adicionar nopal o maguey al rastrojo de maíz incrementa el consumo voluntario de rastrojo por parte de las cabras. La aceptación del maguey como suplemento con rastrojo de maíz es menor que la del nopal.

Palabras clave: Época seca, pastoreo extensivo, suplementación alimenticia.

ABSTRACT. Corn stubble is a forage with low digestibility and protein content, but high in fiber, which makes its consumption very limited. The objective was to know if the addition of cactus or maguey to corn stubble increases voluntary consumption of stubble when used as a supplement for grazing goats. In the first trial, 10 goats crossed with Nubia of similar weight and age were offered corn stubble (S) added with four levels of nopal (0, 30, 50 and 70%, wet basis). The second trial, similar to the first, we replaced the nopal (N) by maguey (M). Both experiments lasted were performed simultaneously. In the third experiment, the best consumed diets in each of the two previous trials were tested (S30:N70 and S30:M70). In general, the consumption of supplement and stubble was better when the stubble was added with nopal or maguey. As the level of nopal increased supplement consumption increased ($P < 0.0001$) as well as the consumption of stubble ($P < 0.0001$). Similarly, the consumption of supplement and stubble were increased as maguey increased in the ration ($P < 0.0001$). The addition of nopal (trial 3) improved the consumption of supplement and stubble to a greater extent than when maguey was used (348.5 vs 271.9 g DM days⁻¹). It is conclude that the addition of nopal or maguey to corn stubble is a viable way to increase voluntary consumption of stubble by goats. The acceptance of maguey as a supplement with corn stubble is lower than that of nopal.

Keywords: Dry season, extensive grazing, feed supplement.

INTRODUCCIÓN

La caprinocultura extensiva es uno de los sistemas de producción pecuaria predominantes en las regiones árida y semiárida de México. La alimentación de los animales se basa en pastoreo en los pastizales naturales. No obstante, la escasa precipitación pluvial, concentrada en los meses de verano, ocasiona que la productividad de los pastizales sea marcadamente estacional, lo cual origina que la calidad y disponibilidad de forraje sean altas en los meses de verano y otoño y bajas el resto del año. En estas condiciones, las cabras experimentan estados de alimentación deficiente en los períodos de estiaje de invierno y primavera (Echavarría *et al.* 2006), lo que se refleja en pérdidas de peso, pobre desempeño reproductivo y baja producción en general (Morlán *et al.* 2005, Olhagaray 2005). Para mantener una producción sostenida se requiere de alimentos de bajo costo y fácil adquisición para suplementar al ganado en la época de estiaje. Es por esto que, los residuos de cosecha, como el rastrojo de maíz y sorgo y el tazol de frijol se han utilizado ampliamente con este propósito. Sin embargo, su bajo valor nutritivo contribuye poco a mejorar el estado nutricional de los animales, particularmente en las épocas de estiaje. En general, son forrajes de baja digestibilidad y bajo contenido en proteína, pero altos en fibra, lo que hace que su consumo sea limitado (Urrutia *et al.* 1982, Fuentes *et al.* 2001).

El nopal es una planta suculenta nativa de México, tolerante a la sequía y muy eficiente en el uso de agua, que se caracteriza por su bajo contenido de materia seca (<15%), nitrógeno y fibra, pero alto contenido de azúcares (Nefzaoui y Ben-Salem 2002, Pinos-Rodríguez *et al.* 2006b, Pinos-Rodríguez *et al.* 2007). El uso de nopal como suplemento a animales en pastoreo extensivo presenta diversas ventajas: el agua del nopal reduce la necesidad de agua de bebida y contribuye con la excreción de las sales contenidas en algunas arbustivas forrajeras, como las del género *Atriplex*, mientras que el contenido de azúcares solubles del nopal mejora el aprovechamiento del nitrógeno soluble de las arbustivas para la síntesis de proteína microbiana (Nefzaoui y Ben-Salem 2002). En corderos alimentados con *Atriplex* la suplementación con nopal mejoró la ganancia de peso (Ben-Salem *et al.* 2005), a pesar de que los corderos que recibieron nopal redujeron el tiempo que invirtieron en el ramoneo de *Atriplex* (Ben-Salem *et al.* 2005). En cabras pastoreando en áreas con predominancia de *Atriplex*, la suplementación con nopal elevó la producción láctea durante el estiaje (Urrutia-Morales *et al.* 2014), por lo que, el uso conjunto de nopal y arbustivas aumenta la eficiencia alimenticia, al mejorar el balance nitrógeno:energía, la digestibilidad de la materia orgánica y la retención de nitrógeno (Ben-Salem *et al.* 2005).

A pesar de las bondades del nopal como suplemento, no todos los ambientes semiáridos son aptos para su producción. Por ello, se ha explorado la posibilidad de utilizar el maguey (*Agave* spp) como suplemento. Este género de plantas suculentas es ampliamente utilizado en México para la elaboración de bebidas alcohólicas, entre ellas Mezcal y Tequila. El proceso de aprovechamiento deja las pencas (hojas modificadas) como residuo, el cual es utilizado por los ganaderos para alimentar a sus animales. Sin embargo, a pesar de su amplio uso, es poco lo que se ha investigado sobre su valor como forraje (Pinos-Rodríguez *et al.* 2006a, Pinos-Rodríguez *et al.* 2008). El presente estudio se realizó con el objetivo de conocer si la adición de nopal o maguey mejoran el consumo voluntario del rastrojo de maíz cuando es utilizado como suplemento para cabras en pastoreo extensivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y declaración de ética

El experimento se realizó en el Campo Experimental San Luis del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (22° 15' LN, 100° 52' LO) de octubre a diciembre de 2019; con clima (BWk) muy seco templado con lluvia de verano, precipitación promedio anual de 330.5 mm anuales (INEGI 2021). Los procedimientos experimentales fueron desarrollados de acuerdo con las normas de protección animal sugeridas por la IGPBRIA (2012) y la Guía para el cuidado y uso de animales de laboratorio del Consejo Nacional de Investigación (NAM 2010).

Animales utilizados y procedimientos experimentales

Se utilizaron 20 cabras de genotipo indefinido encastadas de Nubia, procedentes de los sistemas de pastoreo extensivo ubicados en la región semiárida de San Luis Potosí, de entre 7 y 8 meses de edad y 25 kg de peso vivo promedio. Las cabras se mantuvieron en pastoreo en potreros cuya vegetación estuvo constituida principalmente de *Pennisetum ciliare* L., *Pappophorum vaginatum*, *Eragrostis echinoclloideae*, *Prosopis laevigata* L., *Buddleja scordioides* HBK y *Parthenium incanum* Kunth, por un periodo de 20 días con el fin de adaptarlas previo al inicio de los experimentos. Las cabras fueron desparasitadas con un producto comercial conteniendo 1 g de ivermectina (Baymec®, Bayer, México) y albendazol oral al 2.5%.

Con el fin de evaluar la preferencia del rastrojo adicionado con nopal o maguey usado normalmente como suplemento al pastoreo durante la época de estiaje, se realizaron tres ensayos. El diseño experimental utilizado fue en parcelas subdivididas, en el cual el tipo de alimento fue la parcela mayor, los días de consumo de suplementos las subparcelas, y el animal la repetición. El protocolo experimental se muestra en la Figura 1.

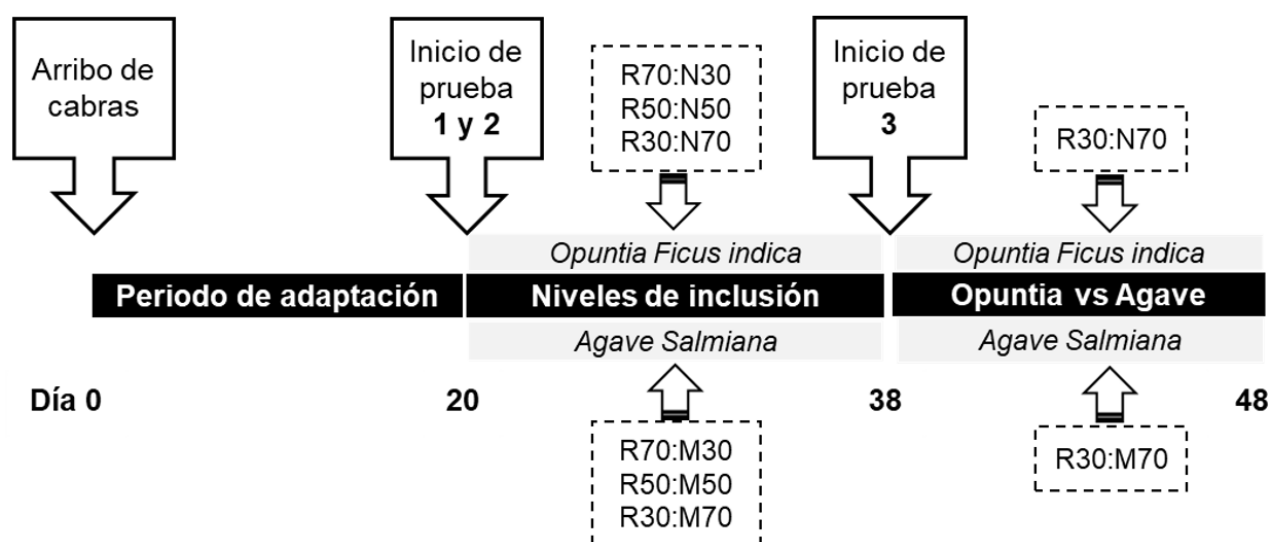


Figura 1. Representación esquemática del diseño experimental. El día 0 representa el día en el que las cabras arribaron al sitio experimental e inició el periodo de adaptación al manejo experimental. La evaluación de niveles de inclusión (en %) de nopal y maguey comenzaron el día 21 y duró 15 días; se continuó con la comparación entre los suplementos mejor consumidos durante 10 días. R: Rastrojo de maíz; N: Nopal; M: Maguey.

Prueba con *Opuntia ficus indica* (1). Se utilizaron 10 cabras a las que se ofrecieron cuatro tipos de suplementos para su selección libre, consistentes en rastrojo de maíz (R), 70% de R + 30% de nopal (R70:N30), 50% de R + 50% de nopal (R50:N50) y 30% de R + 70% de nopal (R30:N70). El periodo de observación fue de 15 días. Los animales fueron rotados cada día en diferente corral, los suplementos cada día se servían en diferentes compartimentos.

Prueba con *Agave salmiana* (2). Similar al ensayo 1, utilizando otras 10 cabras. El nopal fue sustituido por maguey, quedando los tratamientos de la siguiente forma: R, R70:M30, R50:M50, R30:M70.

Prueba comparativa (3). Se utilizaron las mismas 20 cabras de los experimentos 1 y 2, a las que se les ofrecieron tres tipos de suplementos. Uno formado por rastrojo de maíz (R) y otros dos formados por el suplemento que fue mejor consumido en los experimentos 1 y 2 (R30:N70 y R30:M70). El periodo de observación fue de 10 días.

Manejo general. El periodo de estudio fue del 19 de noviembre al 17 de diciembre de 2019. Todos los días las cabras pastorearon en el potrero durante cuatro horas (8:00 a 12:00 h). Después del pastoreo las cabras se alojaron en corrales individuales de 3 m² provistos de sombra, bebedero y comedero de cuatro compartimientos. En cada compartimiento se ofreció uno de los cuatro suplementos en cantidad suficiente para que tuvieran la oportunidad de rechazar hasta el 40% de la cantidad ofrecida. Diariamente se rotó el orden en que se ofrecieron los suplementos en el comedero para eliminar el efecto de acostumbramiento. En estos corrales permanecieron durante tres horas (12:00 a 15:00 hr.), al cabo del cual, se pasaban a un corral general (68 m²) provisto de sombra y agua limpia a libre acceso, en el cual permanecían hasta el día siguiente. Cada suplemento se ofreció en cantidad fija, pesando el sobrante diariamente. La cantidad consumida diariamente se calculó por diferencia. Adicionalmente, se estimó el consumo como porcentaje del total de los cuatro suplementos consumidos.

Suplementos experimentales

En la conformación de los suplementos se utilizó rastrojo de maíz de un genotipo híbrido cosechado en octubre del mismo año. El nopal utilizado fue de la variedad sin espinas Copena F-1 (*Opuntia ficus-indica*), cosechando cladodios de alrededor de 12 meses de edad. El maguey usado fue de la variedad mezcalera o cimarrón (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck), con rosetas de 2.1 m de alto, 3.0 m de diámetro y hojas de 1.8 m de largo y 28 cm de ancho, de alrededor de siete años de edad. Tanto el nopal como el maguey son cultivados en el propio Campo Experimental San Luis. Los materiales se molieron en un molino de martillos (Azteca® modelo MAA-000108, con motor Honda® GX con 240 cm³). El rastrojo de maíz se molió por única vez usando criba con orificios de 1 pulgada de diámetro y se almacenó en costales. El nopal y maguey se molieron en verde diariamente usando el mismo molino sin el uso de criba. Los suplementos se formularon como se ofrece (base húmeda) con los ingredientes previamente molidos. Una vez realizadas las mezclas, se tomaron muestras de cada suplemento para su posterior análisis químico (Tabla 1).

Variables evaluadas

En los tres experimentos se evaluaron las mismas variables: consumo diario de cada uno de los suplementos (CD), estimado por la diferencia entre la cantidad ofrecida y la rechazada; consumo

diario total de suplemento (CDT), estimado como la suma de los consumos de todos los suplementos ofrecidos; consumo proporcional (PROP), estimado como el porcentaje de suplemento consumido en función de la cantidad ofrecida; consumo relativo (CR), estimado como el porcentaje de consumo de cada suplemento en función del consumo diario total; y consumo de rastrojo (RAST), estimado como el consumo únicamente de rastrojo en cada uno de los suplementos ofrecidos.

Tabla 1. Composición química de los suplementos empleados en el estudio, en base seca.

Proporción	PC	C	FDN	FDA	CNF	EM
Rastrojo 100%	4.8	14.2	74.0	51.4	11.3	1.6
70% Rastrojo + 30% Opuntia	4.6	22.0	59.1	41.9	21.3	3.0
50% Rastrojo + 50% Opuntia	4.8	17.8	47.6	36.2	31.1	1.8
30% Rastrojo + 70% Opuntia	5.0	21.3	32.0	29.7	46.6	2.0
30% Rastrojo + 70% Agave	5.1	17.8	45.6	36.6	33.0	1.9
50% Rastrojo + 50% Agave	5.3	20.4	53.6	45.9	25.8	1.7
70% Rastrojo + 30% Agave	4.2	15.6	59.1	47.2	24.0	1.7

PC = Proteína cruda (%), C = Cenizas (%), FDN = Fibra Detergente Neutro (%), FDA = Fibra Detergente Ácido (%), CNF = Carbohidratos no Fibrosos, EM = Energía Metabolizable (Mcal kg).

Análisis estadísticos

Los datos fueron procesados utilizando el paquete estadístico JMP Star Statistics V 4.0 (2000). En los tres experimentos todas las variables se analizaron utilizando un modelo lineal de efectos fijos, incluyendo el tipo de suplemento y el día de observación como efectos fijos en el modelo. Las diferencias significativas entre medias de los tratamientos dentro de cada variable fueron analizadas utilizando la Prueba de Tukey. Adicionalmente, se realizó un análisis para comparar los resultados de los dos primeros ensayos (meta-análisis), utilizando un diseño completamente al azar dentro de un modelo en el que se incluyeron los tratamientos y los días de observación como efectos fijos.

RESULTADOS

El consumo de materia seca de los suplementos fue afectado por el nivel de inclusión de nopal ($P < 0.0001$), por el día de observación ($P < 0.0001$) y por la interacción ($P < 0.01$). En general, el consumo se elevó conforme transcurrieron los días en el experimento, alcanzando el mayor consumo el día 12. El nivel de inclusión de nopal afectó de forma directa la preferencia de las cabras, observándose mayor consumo en los suplementos conteniendo mayor cantidad de nopal (Tabla 2). La cantidad consumida en relación con la cantidad ofrecida fue inferior al 65% en los cuatro suplementos (Tabla 2), lo cual indica que había suficiente disponibilidad de cada suplemento, con efecto altamente significativo ($P < 0.0001$) debido al tipo de suplemento y al día de observación. El consumo de rastrojo fue afectado por el nivel de inclusión de nopal ($P < 0.0001$), el día de observación ($P < 0.0001$) y por la interacción ($P < 0.02$). Las cabras consumieron mayor cantidad de

rastrojo cuando el rastrojo se ofreció mezclado con nopal (Tabla 2), pero entre los niveles de inclusión de nopal del 50 y 70% no se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$).

Tabla 2. Cantidades ofrecidas y consumidas (PROM $\pm$ EEM) de los suplementos formulados a base de rastrojo de maíz y nopal y porcentaje consumido por cabras mantenidas en pastoreo en agostadero.

Tratamiento	Suplemento ofrecido (g de MS)	Suplemento consumido (g de MS)	Porcentaje de suplemento consumido	Consumo de rastrojo (g de MS)	CR (%)
R	90.0	19.1 $\pm$ 1.4 ^c	21.2 $\pm$ 1.5 ^c	19.1 $\pm$ 1.4 ^c	7.46 $\pm$ 0.66 ^d
R70:N30	245.8	104.0 $\pm$ 5.9 ^b	42.3 $\pm$ 2.4 ^b	99.9 $\pm$ 5.7 ^b	24.90 $\pm$ 1.03 ^c
R50:N50	273.3	136.5 $\pm$ 7.3 ^a	49.9 $\pm$ 2.6 ^b	124.7 $\pm$ 6.7 ^a	31.05 $\pm$ 0.87 ^b
R30:N70	241.5	149.9 $\pm$ 6.3 ^a	62.1 $\pm$ 2.6 ^a	122.8 $\pm$ 5.2 ^a	38.33 $\pm$ 1.15 ^a

PROM $\pm$ EEM = Promedio $\pm$ error estándar de a media. CR = % del consumo relativo total de suplemento en MS. R = Rastrojo de maíz; R70:N30 = 70% de R + 30% de nopal; R50:N50 = 50% de R + 50% de nopal; R30:N70 = 30% de R + 70% de nopal. a,b,c, valores en la misma columna con distinta letra son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

El consumo relativo (CR) de los suplementos estuvo fuertemente afectado ($P < 0.0001$) por el nivel de inclusión de nopal (Tabla 2), pero no por el día de observación ($P > 0.85$); el efecto de la interacción fue significativo ($P < 0.05$). La proporción consumida de los cuatro suplementos en relación al consumo diario total permaneció relativamente estable a lo largo de los 15 días que duró el experimento (Figura 2 A). El suplemento R30:N70 fue el que se consumió en mayor proporción durante la mayor parte del experimento; en contraste, el rastrojo solo (R) se consumió en menor cantidad.

En el consumo de MS se detectó efecto del tratamiento ($P < 0.0001$), del día ($P < 0.0001$) y de la interacción ($P < 0.005$). El consumo se incrementó con los días de observación, el mayor consumo se observó alrededor del día 11 del experimento (Figura 3). El consumo de rastrojo sin maguey fue inferior a los demás tratamientos, pero entre los suplementos que tenían diferentes cantidades de maguey no se observaron diferencias significativas ($P > 0.15$, Tabla 3). Así mismo, en el consumo, como porcentaje del suplemento ofrecido, hubo efecto altamente significativo ($P < 0.0001$) debido al día de observación, pero no debido al tratamiento ($P > 0.15$) (Tabla 3). Las cabras consumieron mayor cantidad de rastrojo ($P < 0.0001$) cuando el rastrojo se ofreció mezclado con maguey (Tabla 3), pero el nivel de inclusión de maguey no influyó el consumo de rastrojo ($P > 0.05$). Por su parte, el consumo relativo de los suplementos estuvo fuertemente afectado ($P < 0.0001$) por el nivel de inclusión de maguey (Tabla 3), pero no por el día de observación ni por la interacción ($P > 0.05$); La proporción consumida de los cuatro suplementos en relación al consumo diario total permaneció relativamente estable a lo largo de los 15 días que duró el experimento (Figura 2B). El suplemento formado por rastrojo de maíz solo, se consumió en menor cantidad a lo largo de los 15 días de observación. Los suplementos conteniendo maguey se consumieron en proporciones similares.

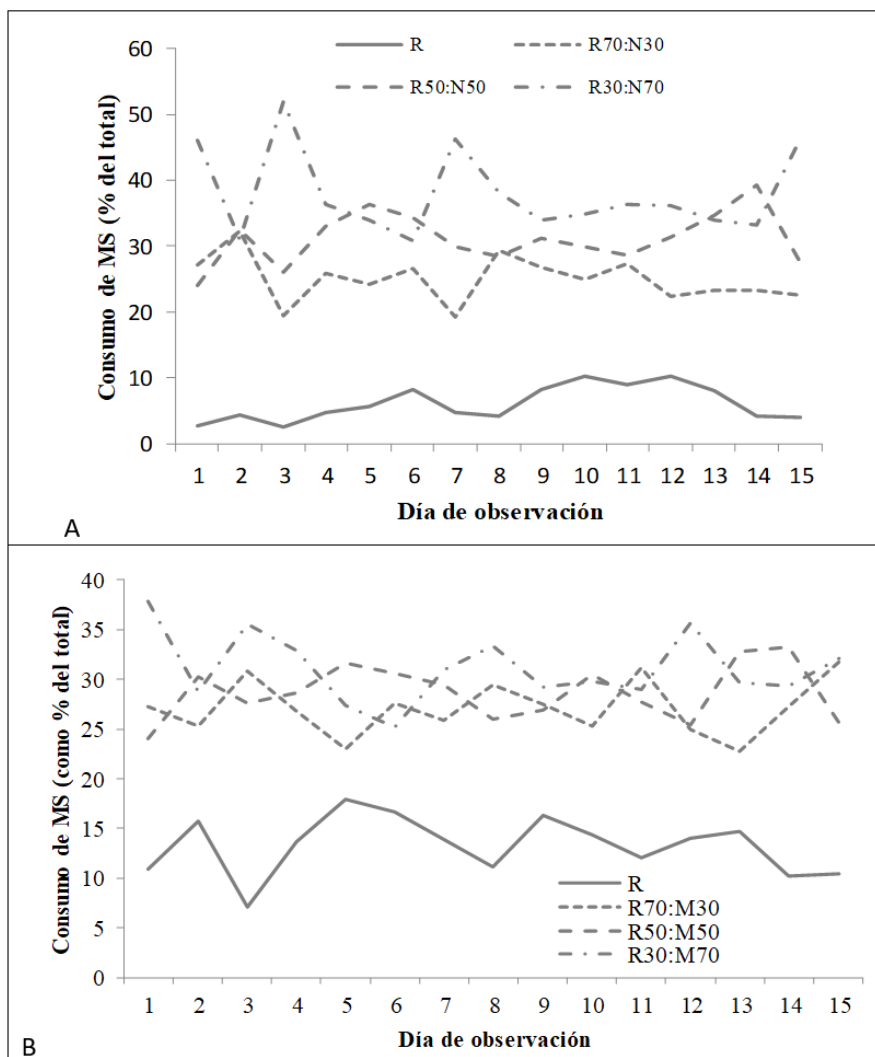


Figura 2. A: Consumo diario de MS (expresado como % del total de suplemento consumido) de cuatro suplementos a base de rastrojo de maíz y nopal. Se encontró efecto ($P < 0.0001$) del tratamiento, pero no del día ($P > 0.85$) sobre la proporción de MS consumida. B: Consumo diario de MS (expresado como % del total de suplemento consumido) de cuatro suplementos a base de rastrojo de maíz y maguey.

En la prueba 3 (R30:N70 vs. R30:M70), el consumo de MS fue afectado por el tipo de suplemento ($P < 0.0001$), pero no por el día de observación ($P = 0.078$), ni por la interacción ($P > 0.10$). El consumo diario promedio de MS fue mayor ($P < 0.0001$) en el caso del suplemento con nopal (348.6 ± 9.67 g), seguido del suplemento con maguey (271.9 ± 7.51 g) y menor en el suplemento de rastrojo solo (23.6 ± 1.49 g). En el consumo, como porcentaje del suplemento ofrecido, hubo efecto altamente significativo ($P < 0.0001$) debido al tipo de suplemento, pero no debido al día de observación o a la interacción ($P > 0.08$). En general, el consumo tendió a incrementarse con el día de observación; el rastrojo se consumió en menor cantidad a los suplementos con nopal o maguey (Tabla 4). De forma similar, el efecto del tratamiento sobre el consumo relativo (como proporción del consumo total de suplemento) fue altamente significativo ($P < 0.0001$) y no se detectaron efectos del día de

observación o de la interacción ($P > 0.35$). El consumo relativo promedio fue mayor en el RN (52.82), seguido del RM (43.37) y mucho menor en el suplemento con rastrojo solo (3.81). En general, el consumo se mantuvo muy estable durante todo el periodo de observación, debido a que los animales ya habían tenido 15 días de experiencia consumiendo dichos suplementos.

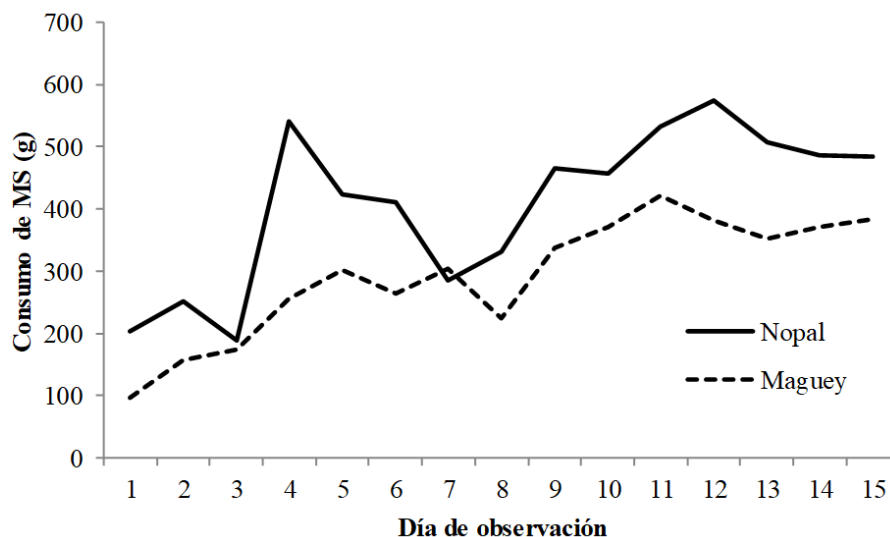


Figura 3. Consumo total de suplemento en cabras a las que se les ofreció suplementos a base de rastrojo adicionado con diferentes cantidades de nopal (-) o maguey (--).

Tabla 3. Cantidades ofrecidas y consumidas (PROM $\pm$ EEM) de los suplementos formulados a base de rastrojo de maíz (R) y maguey (M) y porcentaje consumido por cabras mantenidas en pastoreo en agostadero.

Tratamientos	Suplemento ofrecido (g de MS)	Suplemento consumido (g de MS)	Porcentaje de suplemento consumido*	Consumo de rastrojo (g de MS)	CR (%)
R	90.0	31.1 $\pm$ 1.8 ^b	34.6 $\pm$ 2.0	31.1 $\pm$ 1.8 ^b	13.3 $\pm$ 0.88 ^b
R70:M30	249.2	78.8 $\pm$ 4.1 ^a	31.6 $\pm$ 1.7	74.7 $\pm$ 3.9 ^a	27.13 $\pm$ 0.99 ^a
R50:M50	281.7	90.0 $\pm$ 5.1 ^a	31.9 $\pm$ 1.8	79.8 $\pm$ 4.5 ^a	28.55 $\pm$ 0.91 ^a
R30:M70	256.9	93.0 $\pm$ 5.2 ^a	36.2 $\pm$ 2.0	71.7 $\pm$ 4.0 ^a	31.05 $\pm$ 1.21 ^a

CR = % del consumo total de suplemento en MS. R = Rastrojo de maíz; R70:M30 = 70% de R + 30% de maguey; R50:M50 = 50% de R + 50% de maguey; R30:M70 = 30% de R + 70% de maguey. * No se observó diferencia ($P > 0.05$). a,b, valores en la misma columna con distinta letra son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

Tabla 4. Cantidades ofrecidas y consumidas (PROM $\pm$ EEM) de los suplementos formulados a base de rastrojo de maíz (R), R + nopal (RN) y R + maguey (RM) y porcentaje consumido.

Tratamientos	Ofrecido (g de MS)	Consumido (g de MS)	Consumo (%)	CR (%)
R	90.0	23.6 $\pm$ 1.5 ^b	26.2 $\pm$ 1.6 ^c	3.81 $\pm$ 0.24 ^c
RN	483.1	348.5 $\pm$ 9.7 ^a	72.2 $\pm$ 2.0 ^a	52.82 $\pm$ 1.15 ^a
RM	513.8	271.9 $\pm$ 7.5 ^a	52.9 $\pm$ 1.5 ^b	43.37 $\pm$ 1.18 ^b

CR = % del consumo total de suplemento en MS. a,b,c, Valores en la misma columna con distinta literal son diferentes ($P < 0.05$).

El consumo total de suplemento fue mayor ($P < 0.0001$) en las cabras a las que se les ofrecieron suplementos con nopal ($409.4 \pm 18.4 \text{ g día}^{-1}$) que en las que los suplementos ofrecidos que contenían maguey ($293.0 \pm 12.0 \text{ g día}^{-1}$). En la Figura 3, se muestra el consumo de suplemento a lo largo de los 15 días de observación; en general, el consumo fue mayor en las cabras alimentadas con suplementos que contenían nopal, excepto en dos días.

En el meta-análisis de los dos primeros ensayos, el consumo de solo rastrojo fue mayor ($P < 0.0001$) en las cabras que tuvieron la posibilidad de seleccionar suplementos con rastrojo adicionado con maguey (RM, $31.1 \pm 1.81 \text{ g}$), que en aquellas a las que se les adicionó nopal (RN, $19.1 \pm 1.41 \text{ g}$). En contraste, los suplementos que contenían nopal fueron mejor consumidos que los que contuvieron maguey (Figura 4).

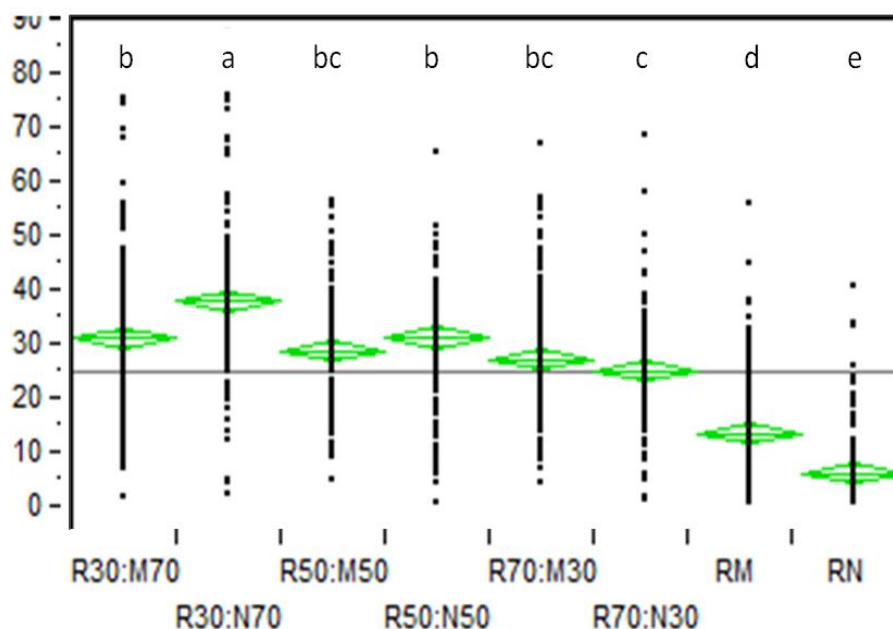


Figura 4. Consumo diario promedio de suplemento por cabras a las que se les ofrecieron suplementos formados por rastrojo sólo o con nopal o maguey. Las líneas de puntos indican los valores originales; los rombos indican los EEM y las líneas que los cruzan indican las medias de cada tratamiento. Los valores se refieren al % del consumo total de MS dentro de cada grupo de suplementos (RM y RN = rastrojo de maíz solo; M = Maguey; N = Nopal). La comparación de medias (Tukey con $\alpha = 0.05$) de tratamientos se muestra con letras en la parte superior de la gráfica.

DISCUSIÓN

Existe mucha información acerca del bajo valor nutritivo de los residuos de cosecha (Fuentes *et al.* 2001). También hay una diversidad de estudios orientados a mejorar el consumo voluntario, la mayoría de ellos sin éxito (Klopfenstein *et al.* 1972, Urrutia *et al.* 1982). Pero pocos estudios se han realizado para evaluar el efecto de la adición de forrajes succulentos, como el nopal y maguey, sobre el consumo voluntario de pequeños rumiantes. Trabajos previos muestran la posibilidad de utilizar nopal como suplemento para pequeños rumiantes sin que se produzcan efectos negativos (Pinos-

Rodríguez *et al.* 2007, Urrutia-Morales *et al.* 2014, Cuevas-Reyes *et al.* 2020). Los resultados del presente estudio muestran que la adición de nopal o maguey al rastrojo incrementa el consumo voluntario de suplemento y de rastrojo por cabras mantenidas en pastoreo extensivo. En los tres ensayos del presente estudio, en general el alimento rechazado fue mayor al 40% del ofrecido en todos los suplementos, lo cual constituía una condición necesaria para demostrar las hipótesis planteadas. En principio se planteó que la adición de nopal o maguey al rastrojo de maíz incrementaría el consumo voluntario de las cabras al ofrecerse como suplemento al pastoreo. Tanto los suplementos conteniendo nopal como maguey fueron consumidos en mayores cantidades que el rastrojo sin aditivo, aunque esta tendencia fue más notoria en el caso del nopal. En general, las cabras tendieron a elevar su consumo con el tiempo, alcanzando los mayores consumos entre los días 11 y 15, en el caso de los dos primeros ensayos, lo que sugiere que las cabras requirieron un periodo de 10 días como mínimo para acostumbrarse a estas dietas (Figura 3).

El rastrojo sin aditivo fue poco consumido en los tres ensayos, lo que confirma su baja aceptación por los caprinos (Figura 2). Este bajo consumo fue más notorio en el caso de las cabras que dispusieron de suplementos conteniendo nopal en comparación con los suplementos conteniendo maguey (Figura 4), lo que sugiere que el maguey es menos aceptado por las cabras. Comparado con las demás dietas, el rastrojo sin aditivo fue el menos consumido en los tres ensayos. Las dietas se les ofrecieron a las cabras de forma simultánea y en cantidad suficiente para que tuvieran la oportunidad de seleccionar entre ellas. Así, las diferencias observadas en la cantidad de alimento consumido se pueden atribuir a la cantidad de nopal o maguey adicionado al rastrojo. El mayor consumo de rastrojo conteniendo nopal o maguey puede estar relacionado con los mayores contenidos de humedad y fracciones de fibra solubles en detergente neutro en estos ingredientes, lo cual aumenta la velocidad de paso y, en consecuencia, el consumo de alimento (Ørskov 1991, Nefzaoui y Ben-Salem 2001). Otros autores mencionan que el efecto benéfico del nopal usado como complemento a pajas de cereales es el mejoramiento de las condiciones de fermentación en el rumen (Ben-Salem *et al.* 1996). El patrón de respuesta a la suplementación con nopal a dietas a base de pajas o rastrojos concuerda con lo observado al usar carbohidratos solubles. El efecto benéfico de la suplementación de nopal a pajas se debe en parte a su elevada digestibilidad en el rumen y a la rápida tasa de paso del alimento por el rumen, así como a su alto contenido de agua (Ben-Salem *et al.* 1996).

El consumo de rastrojo incrementó con la adición de nopal o maguey (Tablas 2 y 3), llegando a consumir más del doble que el rastrojo sin aditivo. En el caso del rastrojo adicionado con nopal, el incremento en el consumo de rastrojo fue cinco veces mayor con la adición de un 30% de nopal y de seis veces adicionando 50 o 70% de nopal. En contraste, el consumo de rastrojo solamente se incrementó a poco más del doble con la adición de maguey, y este incremento fue independiente del nivel de inclusión de maguey. Estos resultados concuerdan con resultados previos en los que se ha evaluado la adición de nitrógeno y/o energía a forrajes de baja calidad, efecto que se debe no sólo a que se mejora la palatabilidad, sino que también mejora la digestibilidad y la velocidad de paso del forraje por el rumen (Ben-Salem *et al.* 1996, Tegegne *et al.* 2007).

Un aspecto interesante es que cuando las cabras tuvieron disponible rastrojo combinado con maguey, el consumo de rastrojo sin aditivo se mantuvo alto (Tabla 3 y Figura 2B), a diferencia del consumo observado con los suplementos conteniendo nopal. Esto indica que la aceptación del

maguey por las cabras es inferior a la del nopal, a pesar de que su valor nutricional es similar. Esto podría deberse a los oxalatos de calcio y saponinas que contiene el maguey, que se sabe tiene un efecto irritante en las mucosas de los labios y lengua (Salinas *et al.* 2001).

La inclusión de nopal en el suplemento fue benéfica en todos los niveles evaluados, con efecto positivo más marcando con el aumento de la proporción de nopal incorporada (Tabla 2). En contraste, los suplementos con maguey fueron consumidos en cantidades similares, independientemente del nivel de inclusión de maguey (Tabla 3 y Figura 4). De forma similar, en el ensayo comparativo el consumo de suplemento con nopal fue más alto al que contenía maguey. En conjunto, estos resultados ponen de manifiesto la mejor palatabilidad del nopal en comparación con la del maguey.

CONCLUSIONES

La inclusión de nopal o maguey al rastrojo de maíz es una forma viable de incrementar el consumo voluntario de rastrojo por cabras en pastoreo extensivo. No obstante, la aceptación del maguey como suplemento con rastrojo de maíz es inferior al de nopal. Así, el nopal y maguey pueden ser considerados como ingredientes complementarios a forrajes de baja calidad cuando éstos son utilizados para suplementar a cabras en pastoreo extensivo, lo que podría contribuir a mitigar los estados recurrentes de desnutrición que experimentan los rumiantes durante la estación crítica de estiaje.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el financiamiento de la presente investigación por medio del proyecto número 945934889 “Opciones tecnológicas para mejorar la productividad del sistema extensivo caprino en el Norte de México”.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

Ben-Salem H, Abdouli H, Nefzaoui A, El-Mastouri A, Ben-Salem L (2005) Nutritive value, behaviour, and growth of Barbarine lambs fed on oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L) and supplemented or not with barley grains or spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) pads. Special issue: Methodology, nutrition and products quality in grazing sheep and goats. Small Ruminant Research 59(2): 229-237. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.05.010>.

- Ben-Salem H, Nefzaoui A, Abdouli H, Ørskov ER (1996) Effects of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* var. *inermis*) on intake and digestion by sheep given straw based diets. *Animal Science* 62: 293-299.
- Cuevas-Reyes V, Santiago-Hernandez F, Flores-Najera MJ, Vazquez-Garcia JM, Urrutia-Morales J, Hosseini-Ghaffari M, *et al.* (2020) Intake of Spineless cladodes of *Opuntia ficus-indica* during late pregnancy improves progeny performance in underfed sheep. *Animals* 10: 995. <https://doi.org/10.3390/ani10060995>.
- Echavarría CFG, Gutiérrez LR, Ledesma RRI, Bañuelos VR, Aguilera SJI, Serna PA (2006) Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano. I Vegetación nativa. *Técnica Pecuaria en México* 44(2): 203-217.
- Fuentes J, Magaña C, Suárez L, Peña R, Rodríguez S, Ortiz de la Rosa B (2001) Análisis químico y digestibilidad “*in vitro*” de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana* 12(2): 189-192.
- IGPBRIA (2012) International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Ed: Council for International Organization of Medical Sciences and the International Council for Laboratory Animal Science. https://olaw.nih.gov/sites/default/files/Guiding_Principles_2012.pdf. Fecha de consulta: 24 de septiembre de 2019.
- INEGI (2021) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aspectos Geográficos San Luis Potosí. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224240/702825224240_1.pdf. Fecha de consulta: 5 de junio de 2024.
- JMP Star Statistics (2000) Version 4.0.3 (Academic). SAS Institute Inc.
- Klopfenstein TJ, Krause VE, Jones MJ, Woods W (1972) Chemical treatment of low quality roughages. *Journal Animal Science* 35: 418-422.
- Morlán CAA, De Lucas TJ, Valdez LE (2005) Caracterización de sistemas de producción de pequeños rumiantes en Venado y Villa de Arista, San Luis Potosí. In: Asociación Mexicana de Producción Caprina A.C. (ed) *Memorias de la XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura*. Culiacán, Sinaloa, México. pp. 625-631.
- NAM (2010) National Academy of Medicine. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals, first ed. Co-Produced by the National Academy of Medicine-Mexico and the Association for Assessment and Accreditation of Laboratory Animal Care International, Harlan: Mexico City, Mexico. 220p.
- Nefzaoui A, Ben-Salem H (2001) *Opuntia* a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. In: Mondragón C, Pérez S (eds) *Cactus (Opuntia spp.) as forage*. Vol. 169. FAO. Plant Production and Protection Paper. Rome. pp. 73-90.
- Nefzaoui A, Ben-Salem H (2002) Forage, fodder and animal nutrition. En: Nobel PS (ed) *Cacti: Biology and uses*. University of California Press. Berkeley, California, USA. pp. 190-210.
- Olhagaray COR (2005) Diagnóstico del segundo año del GGAVATT-INIFAP en el Ejido Juan E. García del municipio de Lerdo, Durango. *Memorias de la XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura* (ed) Asociación Mexicana de Producción Caprina A.C. Culiacán, Sinaloa, México. pp. 615-624.
- Ørskov ER (1991) Manipulation of fibre digestion in the rumen. *Proceedings Nutrition Society* 50: 187-196.
- Pinos-Rodríguez JM, Aguirre-Rivera JR, García-López JC, Rivera-Miranda MT, González-Muñoz S, López-Aguirre S, Chávez-Villalobos D (2006a) Use of “maguey” (*Agave salmiana* Otto ex. Salm-Dick) as forage for ewes. *Journal of Applied Animal Research* 30(2): 101-107. <https://doi.org/10.1080/09712119.2006.9706596>.
- Pinos-Rodríguez JM, Duque-Briones R, Reyes-Agüero JA, Aguirre-Rivera JR, García-López JC, González-Muñoz S (2006b) Effect of species and age on nutrient content and *in vitro* digestibility of *Opuntia spp.* *Journal of Applied Animal Research* 30(1): 13-17. <https://doi.org/10.1080/09712119.2006.9706596>.
- Pinos-Rodríguez JM, Gonzalez-Muñoz SS, Badillo B, García-López JC, Aguirre-Rivera JR, Infante S (2008) Chemical composition and ruminal *in vitro* degradation of *Agave salmiana* Otto ex. Salm-Dick fresh

- or silage. Journal of Applied Animal Research 33(1): 45-48.
<https://doi.org/10.1080/09712119.2008.9706894>.
- Pinos-Rodríguez JM, Velásquez-Blanco JC, González-Muñoz SS, García-López JC, Aguirre-Rivera JR, Bárcena R (2007) Evaluation of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) as forage in a high concentrate total mixed ration on finishing lambs. Journal of Applied Animal Research 32(2): 161-164.
<https://doi.org/10.1080/09712119.2007.9706868>.
- Salinas ML, Ogura T, Soffchi L (2001) Irritant contact dermatitis caused by needle-like calcium oxalate crystals, raphides, in *Agave tequilana* among workers in tequila distilleries and Agave plantations. Contact Dermatitis 44: 94-96. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0536.2001.440208.x>.
- Tegegne F, Kijora C, Peters KJ (2007) Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. Small Ruminant Research 72(2): 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.004>.
- Urrutia MJ, Martínez RL, Shimada AS (1982) Valor nutritivo de rastrojo y ensilaje de maíz con o sin mazorca tratados con hidróxido de sodio para borregos en crecimiento. Técnica Pecuaria en México 42: 7-16.
- Urrutia-Morales J, Gámez-Vázquez HG, Beltrán-López S, Díaz-Gómez MO (2014) Utilización de *Atriplex canescens* y *Opuntia ficus indica* en la alimentación de cabras lactantes durante la sequía. Agronomía Mesoamericana 25(2): 287-296.