

Forraje verde hidropónico de maíz como suplemento en terneros en época de sequía

Hydroponic green corn fodder as a supplement to calves in dry season

Ismael Castellanos-Arellanes¹ , Luis Alaníz-Gutiérrez^{1*} , Adelaido Rafael Rojas-García¹ , Pedro Cisneros-Saguilán² , María Benedicta Bottini-Luzardo¹ , Mario Antonio Mendoza-Núñez¹ 

¹Maestría en Producción de Bovinos en el Trópico, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional, Km. 198, CP. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

²Maestría en Producción Agroalimentaria, Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Pinotepa, Av. Tecnológico No 1155, Sección Primera, Col. La Soledad. CP. 71602. Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia: alanizl@uagro.mx

Artículo científico

Recibido: 04 de mayo 2024

Aceptado: 21 de noviembre 2024

RESUMEN. La ganadería bovina en las zonas tropicales del estado de Guerrero enfrenta diversas dificultades, en particular la escasez de forraje durante la época de sequía, que repercute en pérdidas económicas, disminución de peso y muerte de animales de producción. El objetivo del estudio fue evaluar el uso de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) como alternativa de suplementación en terneros durante la época de sequía en Cuajinicuilapa, Guerrero, México. Se evaluaron las características bromatológicas y productivas del FVHM a los 10, 15 y 20 días después de la siembra. Se midió el consumo, la ganancia diaria de peso y las características ruminales de 15 terneros suplementados con diferentes porcentajes de inclusión de FVHM. El diseño experimental fue completamente al azar y las diferencias de medias se analizaron mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). El forraje cosechado el día 15 presentó las mejores características de proteína cruda (PC), 16.6%, altura (26.1 cm) y rendimiento (6.64 kg por cada kg de semilla germinada). En el trabajo *in vivo* no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p > 0.05$); sin embargo, el tratamiento con la inclusión del 40% fue numéricamente superior, lo que incidió en el análisis de costos, mostrando mayor utilidad y una relación beneficio costo de 1.15, siendo superior a los demás tratamientos. Se concluye que la producción de FVHM es tecnológicamente viable en el nivel local y es una opción interesante para incluir en la alimentación del ganado bovino.
Palabras clave: Becerros de destete, costo de producción, ganancia de peso, análisis bromatológico, relación beneficio costo.

ABSTRACT. Bovine livestock in the tropical areas of the state of Guerrero faces several challenges, particularly forage shortages during the dry season, which lead to economic losses, weight loss, and animal mortality. The objective of this study was to evaluate the use of hydroponic green corn forage (FVHM) as a supplementary feed alternative for calves during the drought season in Cuajinicuilapa, Guerrero, Mexico. The bromatological and productive characteristics of the FVHM were evaluated at 10, 15 and 20 days after sowing. Consumption, daily weight gain and ruminal characteristics of 15 calves supplemented with different inclusion levels of FVHM were measured. The experimental design was completely randomized, and mean differences were analyzed using Tukey's test ($p < 0.05$). The forage harvested on day 15 exhibited the best characteristics with 16.6% CP, a height of 23.6 cm and a yield of 6.64 kg per kg of germinated seed. In the *in vivo* experiment, no statistical differences were found between treatments ($p > 0.05$); however, the treatment with 40% FVHM inclusion was numerically superior, influencing the cost analysis, where it showed higher profitability and a benefit-cost ratio of 1.15, outperforming the other treatments. It is concluded that the FVHM production is viable at the local level and represents a promising option for incorporation into cattle diets.

Keywords: Weaning calves, production cost, weight gain, bromatological analysis, benefit-cost relationship.

Como citar: Castellanos-Arellanes I, Alaníz-Gutiérrez L, Rojas-García AR, Cisneros-Saguilán P, Bottini-Luzardo MB, Mendoza-Núñez MA (2024) Forraje verde hidropónico de maíz como suplemento en terneros en época de sequía. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. IV: e4083. DOI: 10.19136/era.a11nIV.4083.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina desde hace muchas décadas ha representado una actividad económica importante para la sociedad (Rodríguez *et al.* 2018, Santiago *et al.* 2020) mediante la cual se ha impulsado el desarrollo socioeconómico a través de la producción de leche y carne (Meleán *et al.* 2019), productos que pueden ser comercializados y también aprovechados para la subsistencia de las unidades familiares que la practican (Naranjo y Ruiz 2020). El crecimiento poblacional ha representado mayor demanda de alimentos de origen animal (Fillol 2019) principalmente de carne de res (Rojas *et al.* 2022), siendo así que la ganadería bovina es el pilar que más ha aportado para hacer frente a esta demanda a nivel mundial (Friedrich 2014).

La ganadería que se practica en regiones tropicales por lo general se basa en el aprovechamiento de las especies forrajeras disponibles para la alimentación del ganado (García *et al.* 2015), esto disminuye los costos por alimentación (Celorio *et al.* 2021), pero dificulta el desarrollo de las unidades de producción, ya que están sujetas a la estacionalidad, que es muy marcada en estas regiones (Gonzales *et al.* 2015), donde el periodo de sequía hace más evidente la limitada disponibilidad de forrajes para el ganado bovino (Villa-Herrera *et al.* 2009, López *et al.* 2010). Durante la estación seca los forrajes que se encuentran disponibles generalmente son de baja calidad, altamente lignificados y bajo porcentaje de proteína (Guenni *et al.* 2006), lo cual puede reducir el consumo de nutrientes que un rumiante requiere para cada etapa fisiológica (Del-Valle *et al.* 2019). Para hacer frente a estas dificultades se han implementado diversas alternativas, tal es el caso de la técnica de producción de forraje verde hidropónico (FVH), que tiene diversos beneficios como los mencionados por Birgi *et al.* (2018) y Cisneros-Saguilán *et al.* (2023), quienes destacan la facilidad para aplicar la técnica, el rendimiento del forraje, además de tiempos de producción relativamente cortos en comparación a técnicas convencionales en suelo, y sobre todo, consumo de agua significativamente menor. Otras ventajas del FVH son su contenido de proteína, que se encuentra entre un 12 y 16% y digestibilidad superior al 90% (Quispe *et al.* 2016). La incorporación de FVH en la alimentación animal ha demostrado resultados satisfactorios cuando se utiliza como suplemento en época de escasez de forraje.

Los diversos beneficios que el FVH ofrece han dado pie a múltiples estudios en diversas especies como conejos, cerdos, aves, equinos y principalmente en cuyes, pero siempre bajo condiciones controladas y baja escala (Cuesta y Machado 2009, Ricalday *et al.* 2022; Salvador *et al.* 2022). Sin embargo, no existe información suficiente sobre la viabilidad de su uso como suplemento en bovinos en pastoreo y principalmente bajo condiciones de trópico como el estado de Guerrero donde no se ha estudiado la efectividad del forraje hidropónico en la alimentación de bovinos. En este contexto, el objetivo fue evaluar el uso de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) como alternativa de suplementación en terneros durante la época de sequía. Se propuso determinar el tiempo óptimo de cosecha, la respuesta productiva de terneros de destete suplementados con diferentes porcentajes de inclusión (20, 30 y 40%) de FVHM y el efecto económico del uso del FVHM durante la estación seca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El FVHM se produjo en la localidad de Cuajinicuilapa, Guerrero, México; ubicada entre las coordenadas 16° 19' a 16° 36' latitud Norte y 98° 21' a 98° 44' longitud Oeste, a 50 msnm (INEGI 2020). El trabajo *in vivo* se desarrolló en el rancho Rincón de la Esperanza, ubicado en la localidad El Terrero, municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero, cuyas coordenadas centrales son 16° 32' 24.0" de latitud Norte y 98° 26' 31.2" de longitud Oeste (Figura 1) durante los meses de enero a marzo de 2022.

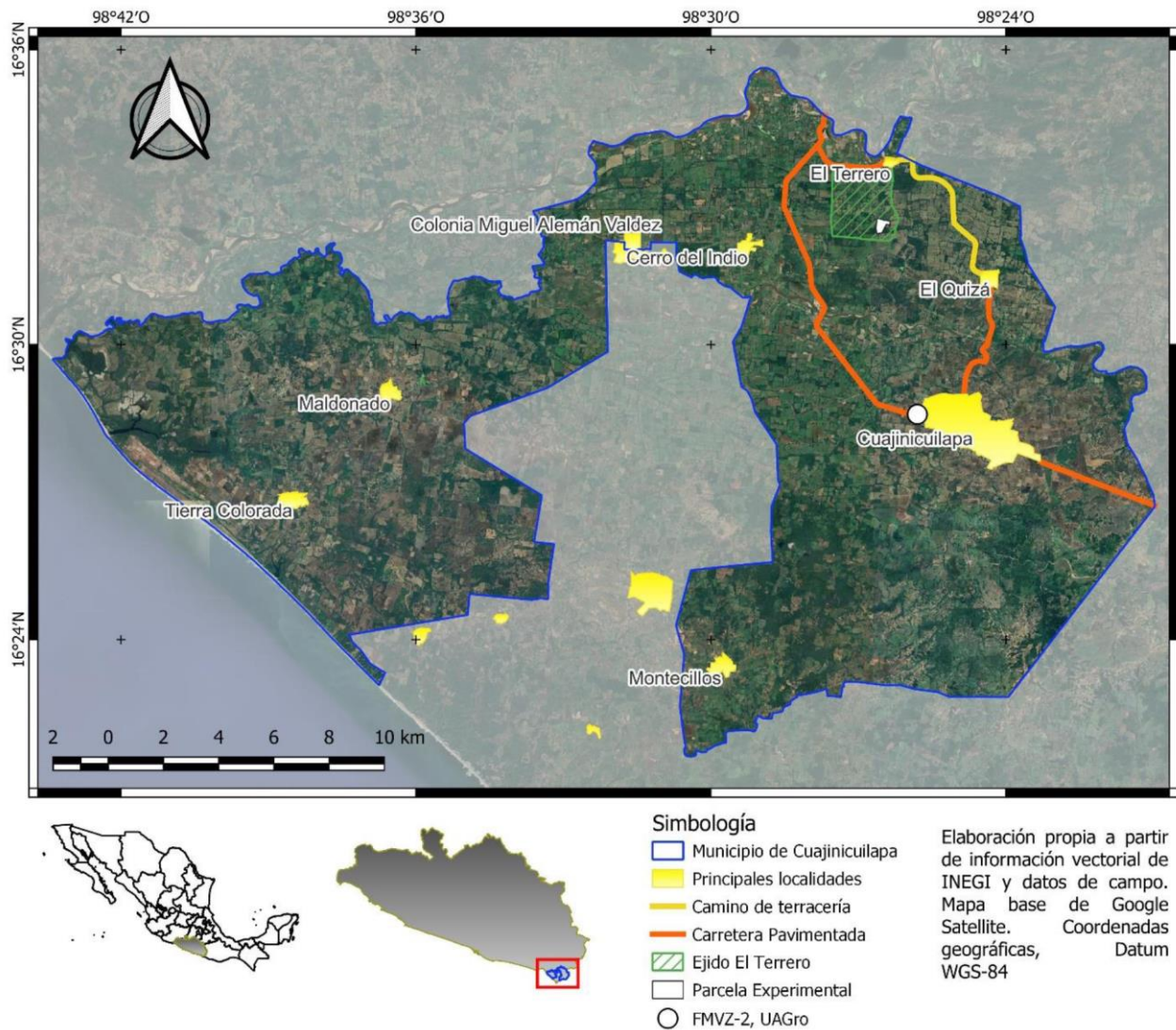


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio en el municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero.

Producción de forraje verde hidropónico

Se empleó la metodología sugerida por Juárez-López *et al.* (2013). Se utilizó grano comercial de maíz (*Zea mays* L.) como semilla, este grano fue adquirido a productores de la misma localidad

donde se realizó el estudio, y tuvo un 90% de germinación. Las semillas se lavaron con agua corriente para eliminar impurezas, suciedad y semillas de baja calidad. Posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1%, para evitar la contaminación con hongos y proliferación de bacterias. Las semillas se sumergieron en agua durante 24 h con la finalidad de que entraran en un proceso de imbibición. Transcurrido el tiempo, las semillas se depositaron en recipientes con un ambiente oscuro para promover la germinación y crecimiento radicular. Nuevamente, después de 24 h, las semillas se sembraron en charolas plásticas con dimensiones de 60 x 37 cm y capacidad de 1 kg de semilla. Los riegos se aplicaron tres veces al día durante el periodo de producción (10 a 20 días), usando una bomba eléctrica de la marca ADIR 185, con una potencia de 0.5 HP, equipada con una manguera de 1 pulgada de diámetro, conectores, válvulas y micro aspersores; el sistema de riego fue automatizado con un temporizador digital de 8 eventos marca STEREN® TEMP 08E.

Determinación del tiempo óptimo de cosecha

Para determinar el momento óptimo de cosecha se evaluaron las características bromatológicas y agronómicas del FVHM, se diseñaron tres tratamientos en función del día de cosecha: T1 = día 10 de cosecha, T2 = día 15 de cosecha y T3 = día 20 de cosecha.

Características agronómicas

Se evaluaron las siguientes variables en el FVHM: a) altura, medida con una regla graduada en cm, desde la parte inicial del tallo hasta el ápice de la hoja, b) grosor del tapete radicular, se midió con regla graduada en cm desde la base del tapete hasta la parte superior de las plantas, y c) peso total de biomasa, registrando el peso del tapete completo (hojas y raíces) de cada charola en una báscula digital marca OHAUS Defender® 3000 H4594- 300 lbs x .05 lb, para obtener el rendimiento en kg base húmeda (BH) por charola cosechada.

Análisis bromatológico

El análisis de las características agronómicas y bromatológicas del forraje se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero. Las muestras de FVHM se obtuvieron desde tres tapetes de biomasa (hojas y raíces) seleccionados al azar, los cuales se dividieron en tres muestras representativas del tapete, posteriormente las muestras se deshidrataron en una estufa (Felisa® FE-293A, México) a 60 °C por 72 h y de esta manera se obtuvo el contenido de materia seca (MS) por diferencia de peso (método 967.03, AOAC 2005). Posteriormente las muestras se molieron en un molino Thomas-Wiley Mill (Thomas Scientific®, Swedesboro, NJ, USA) con una criba de 1 mm. La proteína cruda (PC) se determinó por el método 920.05 AOAC, 2005, cenizas (Ce) y materia orgánica (MO), con el método 942.05 descrito según la AOAC (2005). La fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinaron usando la metodología de ANKOM Technology Method según Van-Soest *et al.* (1991). La hemicelulosa (Hemi) se calculó por diferencia entre FDN y FDA.

Tratamientos del trabajo *in vivo*

En la Tabla 1 se muestran los cuatro tratamientos que se utilizaron durante el experimento, con base en diferentes porcentajes de inclusión del forraje verde hidropónico de maíz (FVHM).

Tabla 1. Tratamientos y número de animales en el experimento.

Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Inclusión de FVHM (%*)	0	20	30	40
No. de animales	3	3	3	3
Cantidad ofrecida (kg BH)	0	4,6	6,6	8,8

* Calculado en base a consumo teórico según NRC (1996), T1 = Grupo testigo, T2 = Inclusión 20%, T3 = 30% inclusión, T4 = 40% inclusión.

Potreros

Se utilizaron praderas sembradas con pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) bajo condiciones de temporal, sin fertilización, y cuyo manejo se limitó a control de malezas, con una aplicación de herbicida y eliminación manual de arbustivas y leñosas al inicio de la temporada de lluvias. El período de rebrote de la paradera fue de 150 días, los potreros estuvieron divididos en dos secciones de 5.0 ha cada uno, y se usó una proporción de cuatro terneros por hectárea.

Animales

Se utilizaron 12 terneros destetados, de 9 a 11 meses de edad, con peso promedio de 140 ± 15 kg, encastados con *Bos taurus* x *Bos indicus*, los cuales estuvieron pastando en las praderas ya descritas. Previo al experimento los animales se sometieron a un periodo de adaptación al manejo durante 10 días, en este periodo se aplicó tratamiento profiláctico (Tabla 2). El primer día de adaptación se les ofreció, en comederos individuales, 1.0 kg en base húmeda de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM), la cantidad ofertada se incrementó de manera gradual en función del consumo, hasta llegar a la oferta final para cada tratamiento.

Tabla 2. Manejo zoonosanitario de los terneros durante el periodo experimental.

Composición química	Nombre comercial	Dosis y vías de administración	Fecha de aplicación
Cacodilato de sodio, citrato de hierro, acetato de cobalto, sulfato de cobre, cloruro de manganeso y vitamina B12	Hemoplex	1 mL/50 kg de peso vivo. Vía IM	19 de enero
Albendazol + Cobalto	Albendaphorte al 10% + Co	1 mL/50 kg de peso vivo. Vía Oral	19 de enero
B12 + Fosforo	Cutosa	1 mL/50 kg de peso vivo. Vía IM	27 de febrero
Clorpirofos + Permetrina	Garraban Mo 29	1 mL/litro de agua. Vía tópica	19 de enero 24 de febrero

Suplementación

El experimento tuvo una duración de 62 días. El FVHM se ofreció en corrales individuales de 1.5 x 2.5 m. La suplementación se proporcionó a las 8:00 h. Una vez que los animales consumían el

suplemento, se ofrecía una mezcla de sales minerales (Microfos12[®], laboratorios MNA, formulada a base de fósforo, calcio, magnesio, potasio, Zinc, Hierro, Cobre, Iodo, Cobalto, Selenio, Vitamina A, Vitamina D3 y Vitamina E; el cual se ofrecía a razón de 1 kg/animal. A los animales del grupo testigo únicamente se les ofrecían las sales minerales. El consumo diario del FVHM se midió a través de la diferencia de peso entre la cantidad ofrecida y rechazada.

Ganancia diaria de peso (GDP)

Se calculó dividiendo la diferencia entre el peso final e inicial de los terneros, entre los días de duración del experimento, utilizando la fórmula siguiente:

$$GDP = \frac{\text{Peso final (kg)} - \text{Peso inicial (kg)}}{\text{Periodo en alcanzar el peso final (días)}}$$

Características ruminales

El manejo de los animales se realizó conforme al reglamento para el uso y cuidado de los animales destinados a la investigación especificados en la norma NOM-062-ZOO-1999. El último día del experimento se extrajeron 20 mL de fluido ruminal mediante una sonda esofágica. El fluido ruminal se filtró con una capa doble de gasas. Inmediatamente, se midió el pH con un potenciómetro portátil (marca HANNA Basic HI 98107; calibración: pH 7.0 y 4.0). Para el conteo de bacterias totales (CBT) y protozoarios se colocó 1 mL de fluido ruminal en un tubo de ensayo (Pirex[®], México) con 0.25 mL de formaldehído al 10 % (Sigma Aldrich[®]). La cantidad de bacterias totales se calculó realizando conteo directo en una cámara Petroff-Hausser (Hausser #39000, Electron Microscopy Sciences, USA). Para el recuento se usó un microscopio óptico a una magnificación de 1 000X. La cantidad de bacterias se estimó con la fórmula:

$$\text{Cantidad de bacterias} = \text{Promedio} * 2 * 10^7$$

Dónde: $2 * 10^7$ es el factor de dilución (Sánchez-Santillán y Cobos-Peralta 2016).

La cantidad de protozoarios totales se calculó realizando el conteo directo en una cámara de Neubauer (Línea brillante Brand[®]) con un microscopio a una magnificación de 400X. La cantidad de protozoarios se calculó con la fórmula:

$$\text{Cantidad de protozoarios} = \text{Promedio} * 2 * 10^4$$

Dónde: $2 * 10^4$ es el factor de dilución (Espinoza-Sánchez et al. 2020).

Ácidos grasos volátiles (AGV)

Se tomó 1 mL de fluido ruminal y se colocó en un tubo Eppendorf (2 mL) con 0.25 mL de ácido metafosfórico a 25% (MEYER[®]). Se determinó la concentración de AGV en un cromatógrafo de gases (Clausius 500, Pekín, Elmer, USA), provisto con un automuestreador, una columna capilar de 15 m (ELITE-FFAP, Pekín Elmer, USA), y un detector de ionización de flama (FID). El gas acarreador fue N₂ a 60 psi, se usó H₂ y aire extra seco para generar la flama. Las temperaturas del horno, inyector y columna fueron 120, 250 y 250 °C, respectivamente. El tiempo de retención fue de 1.22, 1.55 y 2.02 min para acético, propiónico y butírico, respectivamente.

Análisis de costos

Para el cálculo de la relación beneficio costo (RBC) se siguieron las recomendaciones de Valdés y Saavedra (2019), considerando inicialmente el costo de producción por cada kg de FVHM obtenido, se tomaron en cuenta los ingresos, así como los costos de cada uno de los insumos utilizados, la inversión total y la depreciación por ciclo productivo. La información económica se expresa en dólares estadounidenses (USD), tomando como referencia el tipo de cambio según Banxico, al 07 de marzo de 2022, que equivalió a \$20.57 pesos mexicanos por dólar; con estos datos fue posible el cálculo de los siguientes indicadores:

Costo fijo total (CFT) = sumatoria del costo (USD) de todos los insumos clasificados como costos fijos.

Costo fijo unitario (CFU) = CFT/Producción total (kg) en el ciclo productivo.

Costo variable total (CVT) = sumatoria del costo (USD) de todos los insumos clasificados como costos variables.

$$\text{Costo variable unitario (CVU)} = \frac{CVT}{\text{Producción total (kg) en el ciclo productivo}}$$

$$\text{Costo total (CT)} = CFT + CVT$$

$$\text{Costo unitario (CU)} = CFU + CVU$$

Una vez se obtuvo el precio (USD) por kg de FVHM producido se determinó la RBC, considerando los indicadores CFT, CFU, CVT, CVU, CT, CU, con la fórmula siguiente:

$$RBC = \frac{\text{Ingresos totales}}{\text{Costos totales}}$$

Donde: Ingreso total (IT) = Peso vivo del ternero (kg) x precio de venta unitario (PVU), Costo total = CFT ± CVT, es decir todos los gastos generados en la unidad de producción, Utilidades (U) = Ingreso total – costo total,

Además, se calculó el punto de equilibrio, usando las fórmulas:

$$\text{Punto de equilibrio en kg (PEx)} = \frac{CFT}{PVU - CVU}$$

$$\text{Punto de equilibrio en ingresos (PEI)} = (PEx)(PVU)$$

$$\text{Punto de equilibrio en animales (PEZ)} = \frac{PEx}{PPA}$$

Donde PPA es la producción promedio por animal, en kilogramos.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar. Las variables ganancia diaria de peso, consumo, pH, bacterias totales y protozoarios; así como la producción de ácidos grasos volátiles (AGVs), se analizaron usando el paquete estadístico InfoStat® (InfoStat 2010). Las variables altura de la planta (cm), rendimiento de FVH (kg) y grosor del tapete radicular (cm), se analizaron con el paquete

estadístico SPSS; se empleó la prueba de Tukey ($\alpha < 0.05$) para determinar diferencia de medias entre las variables.

RESULTADOS

Características agronómicas

Los resultados para las características agronómicas se presentan en la Tabla 3. Se encontraron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre los tratamientos (días de cosecha) para las tres variables analizadas. Para la altura de la planta, destaca el tratamiento T2 con promedio de 26.1 cm respecto a los demás tratamientos. El grosor del tapete radicular también presentó mejor respuesta para el tratamiento T2, cuando tuvo un grosor promedio de 6.64 cm (Tabla 3). Para el caso de la producción de biomasa, se pudo apreciar que los tratamientos T1 y T3 presentaron valores inferiores al tratamiento T2, con un rendimiento de 5.62 y 4.18 kg, respectivamente.

Tabla 3. Características productivas de FVHM a diferentes días de cosecha.

Variable	Unidad	Días de cosecha		
		T1	T2	T3
Altura	(cm)	23.6 ^a	26.1 ^a	18.66 ^b
Grosor tapete radicular	(cm)	4.28 ^b	6.06 ^a	3.92 ^b
Rendimiento (kg de FVHM)	(kg)	5.62 ^{ab}	6.64 ^a	4.18 ^b

T1 = día 10 cosecha, T2 = día 15 cosecha, T3 = día 20 cosecha (^{a, b} Medias con distinta letra en una misma fila son diferentes, Tukey $P \leq 0.05$).

Análisis bromatológico

El contenido de materia seca no presentó diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$), no obstante, se observa una relación inversa entre los días de corte y el porcentaje de MS. El valor de PC fue inferior cuando se cosechó la biomasa a los 20 días (T3), cuando también se observó mayor senescencia de las hojas y putrefacción de las raíces. Los porcentajes de Ce se encuentran dentro de los valores normales requeridos en un forraje para la alimentación animal. La MO tuvo un comportamiento superior al 90%, sin mostrar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). Los porcentajes de FDN obtenidos en los tratamientos T1 y T3 fueron de 55.8 y 63.9%, respectivamente, con diferencias estadísticas ($p < 0.05$), lo que sugiere que los porcentajes de FDN se ven modificados por el día de cosecha. Lo mismo ocurre con la FDA, que tiende a incrementarse conforme transcurren los días de cosecha. Los valores de hemicelulosa no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Características químicas del FVHM a diferentes días de cosecha.

Variable (%)	Tratamientos (días de cosecha)		
	T1 (10)	T2 (15)	T3 (20)
Materia seca	18.9 ^a	16.7 ^a	15.5 ^a
Proteína cruda	16.6 ^a	16.6 ^a	13.4 ^b
Cenizas	4.8 ^a	4.8 ^a	5.5 ^a
Materia orgánica	95.2 ^a	95.2 ^a	94.5 ^a
Fibra detergente neutro	55.8 ^b	62.1 ^{ab}	63.9 ^a
Fibra detergente ácido	17.9 ^b	20.2 ^{ab}	24.3 ^a
Hemicelulosa	37.8 ^a	41.9 ^a	39.6 ^a

^{ab} Medias con distinta letra en una misma fila son diferentes ($P \leq 0.05$).

Respuesta productiva de los terneros

Los resultados obtenidos de la variable ganancia diaria de peso no mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p < 0.05$); lo que indicó que en este estudio el consumo de FVHM no modificó esta variable.

Características ruminales

La variable pH no mostró diferencias significativas entre tratamientos y el grupo testigo ($p < 0.05$), lo que indica que los diferentes porcentajes de inclusión de FVHM en la dieta no modifican este indicador, obteniéndose promedios de pH de entre 6 y 7. Tampoco se encontraron diferencias estadísticas en las concentraciones de bacterias y protozoarios, ni en la producción de AGV's ($p > 0.05$), lo que indica que estas variables no se ven modificadas por el efecto de la inclusión del FVHM en la dieta (Tabla 5).

Tabla 5. Respuesta productiva y características ruminales de los terneros en los diferentes tratamientos.

Variables	T1 (0%)	T2 (20%)	T3 (30%)	T4 (40%)
Consumo FVHM (kg)	---	4.27 ^c	6.37 ^b	8.49 ^a
GDP (kg)	0.46 ^a	0.48 ^a	0.75 ^a	0.81 ^a
pH	7.12 ^a	7.04 ^a	6.55 ^a	6.62 ^a
Protozoarios (105 Cel mL ⁻¹)	4.12 ^a	6.50 ^a	2.59 ^a	1.40 ^a
Bacterias (109 Cel mL ⁻¹)	1.97 ^a	2.43 ^a	2.25 ^a	3.16 ^a
Acetato (%)	64.5 ^a	51.2 ^a	52.3 ^a	54.1 ^a
Propionato (%)	20.0 ^a	25.4 ^a	23.6 ^a	23.7 ^a
Butirato (%)	15.5 ^a	23.3 ^a	24.4 ^a	22.0 ^a
AGVs totales (Mmol L ⁻¹)	28.5 ^a	24.4 ^a	34.3 ^a	29.0 ^a

^{abc} Medias con distinta letra en una misma fila son diferentes ($P \leq 0.05$). GDP = Ganancia diaria de peso; pH = potencial de hidrógeno. AGVs = Ácidos Grasos Volátiles.

Análisis de costos

El análisis de costos permitió observar un fenómeno interesante al comparar las inclusiones de 0 y 20% de FVHM, para el grupo testigo (T1) las utilidades resultaron mayores en comparación con las obtenidas con la inclusión del 20% de FVHM (T2), de igual manera, la relación beneficio costo fue superior en el grupo testigo; sin embargo, cuando se incrementó el porcentaje de inclusión, las utilidades fueron mayores, como se observa en el tratamiento con inclusión del 30% (T3). En particular, el tratamiento con la inclusión del 40% de FVHM (T4) fue superior a los demás tratamientos, tanto en utilidades como en su relación beneficio costo (Tabla 6). Otro dato relevante es el costo de producción por kg de FVHM, el cual resultó de 0.17 USD, factor muy importante a considerarse siempre en la alimentación del ganado bovino (Tabla 7).

Tabla 6. Comparación de la relación beneficio/costo y el punto de equilibrio entre tratamientos.

Tratamiento	CT (USD)	CU (USD)	IT (USD)	U(USD)	PE (x)(kg)	PE I (Ingresos USD)	PEZ (Animales)	RBC
T1 (0%)	239.53	0.132	250.44	10.91	35.14	105.92	3.71	1.04
T2 (20%)	257.67	0.134	265.37	7.70	37.73	113.73	3.61	1.02
T3 (30%)	284.50	0.128	306.83	22.33	34.17	102.98	3.61	1.07
T4 (40%)	299.50	0.118	345.10	45.61	28.37	85.50	2.99	1.15

C.T = costo total, CU = costo unitario, IT = ingreso total, U = utilidades, PE = punto de equilibrio, PEI = punto de equilibrio en ingresos, PEZ = punto de equilibrio en animales, RBC = relación beneficio costo.

Tabla 7. Cálculo del costo de producción unitario (USD por cada kg de FVHM)

Insumo	CFT	CFU	CVT	CVU	CT	CU
Mano de obra	241.13	0.0647				
Semilla de maíz			364.61	0.0982		
Energía eléctrica			9.72	0.0024		
Limpieza	12.15	0.0034				
Agua	11.00	0.0029				
Depreciación Eq. con motor	2.23	0.005				
Depreciación Eq. sin motor	6.24	0.0015				
Total	272.76	0.0734	374.33	0.1006	647.09	0.17

CFT = Costo fijo total, CFU = Costo fijo unitario, CVT = Costo variable total, CVU = Costo variable unitario, CT = Costo total, CU = Costo unitario.

DISCUSIÓN

Características agronómicas

El FVHM presentó una relación entre cantidad de semilla y forraje producido de 1:5.4; es decir, en promedio, por cada kg de semilla sembrada se obtuvo 5.4 kg de FVHM. Estos resultados superan a lo reportado por Vargas (2008) quien encontró una relación de 1:4.3. Por otro lado, Mejía y Orellana (2019) mencionan que las variables de altura, grosor del tapete radicular y rendimiento, presentan una relación directa con los días de cosecha. Sin embargo, en este estudio no se presentó

esta relación positiva, ya que después del día 15 (T2) las variables referidas disminuyeron significativamente en el día 20 (T3), comparado a los días 10 (T1) y 15 (T2), lo que es consistente con un amarillamiento en las hojas y pudrición de raíces en los tapetes, que se observó en el experimento.

Análisis bromatológico

Se observó una relación inversa entre los días de cosecha y la variable MS, es decir, a mayor tiempo de cosecha menor materia seca, resultando en 18% para el tratamiento T1, 16% para T2 y 15% para T3. Este fenómeno se asocia principalmente con senescencia que presentaron las hojas de la planta y la putrefacción de las raíces, no obstante, estas diferencias no fueron estadísticas ($p < 0.05$). Estos resultados difieren con lo reportado por Salas *et al.* (2010) y Núñez *et al.* (2005), quienes reportaron que el contenido de MS está estrechamente relacionado a los días de corte o cosecha, lo que indica que conforme incrementa el día de cosecha, aumentan las concentraciones de materia seca en el forraje, esto asociado a la pérdida gradual de humedad en la planta.

No se registraron diferencias ($p < 0.05$) en los componentes químicos estudiados para los tratamientos T1 y T2, presentando medias iguales para PC en ambos casos (16.6%), pero sí en T3, donde la concentración de PC fue menor (13.4%). Estos datos indican que la mayor concentración de proteína ocurre entre los días 10 y 15 de cosecha. En el caso de las variables contenido de Ce, MO, FDN, FDA y Hemicelulosa, se encuentran dentro los valores normales que un forraje debe contener para utilizarse en la alimentación de bovinos, según Di-Marco (2012), quien menciona que para FDN debe contener concentraciones de entre el 50 y 60% y de FDA de 18 a 30%.

Respuesta productiva de los terneros

Los resultados para GDP no mostraron diferencia estadística entre tratamientos, a pesar de esto, se puede hacer un comparativo donde los resultados obtenidos de manera general muestran buena respuesta productiva, ya que en promedio se obtuvo una GDP de 0.62 kg, superior a la que alcanza un ternero (0.22 kg) en condiciones de pastoreo sin suplemento (Obispo *et al.* 2013). El tratamiento con la inclusión del 40% de FVHM mejoró la respuesta de los terneros al obtener una GDP de 0.81 kg, superior a lo reportado por Galán *et al.* (2011) quienes obtuvieron GDP de 0.52 y 0.56 kg.

Características ruminales y ácidos grasos volátiles

Los valores encontrados para las variables pH, concentración de bacterias y AGV's no se vieron modificados por el consumo de FVHM, no obstante, los valores encontrados indican condiciones adecuadas en el ecosistema ruminal (Lam *et al.* 2018).

Análisis de costos

La relación beneficio costo fue superior a uno, esto es similar a lo reportado por Martínez y Romero (2013), quienes al realizar un análisis económico de la producción de FVH, obtuvieron una relación beneficio costo de 1.1. El cálculo de la RBC es una herramienta que permite observar antes y después de un proyecto, la factibilidad de ponerse en marcha (Oliveira *et al.* 2019). En este sentido, una RBC ideal es aquella que resulta mayor a uno, con esto se asegura que, por cada peso invertido, este se recupera y por lo tanto los beneficios (ingresos) son mayores a los sacrificios (egresos) (Navarro 2016).

El costo por kg de FVHM obtenido fue de 0.17 USD, siendo inferior a lo reportado por Villalobos y Quiroz (2022), quienes determinaron un costo de 0.30 USD por kg de suplemento, posiblemente atribuido a la reducción en la mano de obra requerida. Debido a la automatización del sistema de riego, enfatizando que solo fue necesario un empleado, y al considerarse un costo fijo, no fue significativa la mano de obra por efecto de la cantidad de FVH producido; en este sentido, Mora *et al.* (2007) mencionan que la mano de obra es uno de los recursos que más costos genera en la actividad agropecuaria y esta se incrementa a la par de los volúmenes de producción.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente estudio, se concluye que el tiempo de cosecha afecta las características nutricionales del FVHM, siendo el día 15 el mejor momento para ofrecerlo al ganado. La inclusión del 40% de FVHM en la dieta mejora los resultados económicos en el sistema de producción. Este es el primer experimento para validar la viabilidad del uso de FVHM en terneros bajo las condiciones climáticas y de manejo en la región de Cuajinicuilapa, Guerrero.

AGRADECIMIENTOS

Al productor participante, el Señor Ignacio Arellanes Palacios quien facilitó los animales y la unidad de producción donde se llevó a cabo el experimento *in vivo*, así como al Dr. Paulino Sánchez Santillán, que también participó en el diseño y análisis de resultados del estudio.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- AOAC (2005) Official methods of analysis. 18.a ed. Association of analytical chemist. <https://www.eoma.aoc.org>. Fecha de consulta: 20 de febrero de 2022.
- Birgi JA, Gargaglione V, Utrilla V (2018) El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*). Revista de Investigaciones Agropecuarias 44(3): 316-323.
- Cuesta BT, Machado PR (2009) Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. Revista Bioetnia 6(2): 127-134. <https://doi.org/10.51641/bioetnia.v6i2.76>.
- Cisneros-Saguilán P, Cruz-Bautista P, Hernández-Hernández M (2023) Forraje verde hidropónico como alternativa forrajera en la alimentación animal. Tropical and Subtropical Agroecosystems 26(79): 1-16. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4679>.

- Celorio CJC, Berumen AAC, Ramírez VS (2021) Evaluación económica de una unidad bovina doble propósito en el trópico húmedo. *Revista Mexicana de Agronegocios* 49: 1-10.
- Di-Marco O (2012) Estimación de calidad de los forrajes. *Sitio Argentino de Producción Animal* 20(240): 24-30.
- Del-Valle MRJ, Barrera LE, Ruíz CC, Ortega VB, Rojas PDL (2019) Elaboración de bloques nutricionales como alternativa para bovinos en épocas de sequías. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Centro Agropecuario y de Biotecnología El Porvenir, Montería, Córdoba, Colombia 52p.
- Espinoza-Sánchez J, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Ayala-Monter MA, Herrera-Pérez J, Magadan-Olmedo F (2020) Inclusion of ripe mango as a source of energy in diets for Creole lambs in the dry tropics. *Tropical Animal Health and Production* 52(6): 3519-3526. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02386-4>.
- Fillol A (2019) La Seguridad Alimentaria como factor sostenible de Paz y Seguridad Internacionales. *Araucaria* 21(42): 157-181. <https://doi.org/10.12795/araucaria.2019.i42.08>.
- Friedrich T (2014) Producción de alimentos de origen animal. Actualidad y perspectivas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48(1): 5-6.
- García MA, Albarrán PB, Avilés NF (2015) Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del estado de México. *Agrociencia* 49(2): 125-139.
- Gonzales PE, Davalos FJL, Rodríguez RO (2015) Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería tropical. Libro Técnico. Talleres de impresión D&D Internacional. REDGATRO. México. 272p.
- Galán OJA, Herrera LLC, Pabón CF (2011) Suplementación de dos fuentes de maíz en terneros en San Alberto, Cesar. *Spei Domus* 7(14): 33-39.
- Guenni O, Gil JL, Baruch Z, Márquez L, Núñez C (2006) Respuestas al déficit hídrico en especies forrajeras de *Brachiaria* (TRIN.) GRISEB. (POACEAE) *Interciencia* 31(7): 505-511.
- INFOSTAT (2010) Software estadístico, versión 2010, <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=32>. Fecha de consulta: 06 de febrero de 2023.
- INEGI, (2020) Censo de poblacional y vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>. Fecha de consulta: 27 de junio de 2022.
- Juárez-López P, Morales RHJ, Sandoval VM, Danés AG, Cruz CE, Juárez RCR, Aguirre OJ, Alejo SG, Ortiz CM (2013) Producción de forraje verde hidropónico. *Fuente Nueva Época* 4(13): 1-11.
- Lam S, Munro J, Zhou M, Guan L, Schenkel F, Steele M, Miller S, Montanholi Y (2018) Associations of rumen parameters with feed efficiency and sampling routine in beef cattle. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience* 12(7): 1442-1450. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002750>.
- López RM, Solís GG, Murrieta SJ, López ER (2010) Percepción de los ganaderos respecto a la sequía. Viabilidad de un manejo de los agostaderos que prevenga sus efectos negativos. *Estudios Sociales* 17: 222-241.
- Martínez GM, Romero RRA (2013) Análisis económico de la producción de forraje verde hidropónico. En: Nava MB (ed) *La ganadería en la seguridad alimentaria de las familias campesinas*. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 245-323
- Mejía CHJ, Orellana FSN (2019) Forraje verde hidropónico: una alternativa de producción ante el cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 5(9): 1103-1120 <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i9.7947>.
- Meleán RR, Ferrer MA, Campos TJA (2019) Gestión de costos de producción en ganadería bovina del Municipio Valmore Rodríguez, Zulia-Venezuela. *Revista de Ciencias Sociales* 25(4): 250-262.
- Mora DJR, Ramírez MC, Quirós MO (2007) Mano de obra, análisis beneficio-coste y productividad de la energía en la caficultura campesina de Puriscal, Costa Rica. *Cuadernos de Administración* 20(33): 79-101.

- Naranjo RJF, Ruiz BJD (2020) Sobre algunos mitos y realidades de la ganadería bovina. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 21(3): e1524. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1524.
- Navarro OCA (2016) Análisis financiero de una alternativa de suplementación sostenible en la ganadería Colombiana. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos* 7(2): 73-93. <https://doi.org/10.22579/22484817.689>.
- NRC (1996) Nutrient Requirements of Beef Cattle: Subcommittee on Beef Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition. National Research Council 7.
- Núñez HG, Faz CR, González CF, Peña RA (2005) Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Técnica Pecuaria en México* 43(1): 69-78.
- Obispo NE, Espinoza Y, Gil JL, Ovalles F, Cabrera E, Pérez MJ (2013) Relación de la proporción de sombra en el potrero con el rendimiento, calidad del forraje y ganancia diaria de peso en novillos. *Revista Científica* 23(6): 531-536.
- Oliveira AB, Silva RR, Silva FF, Carvalho GGP, Silva APG, João WD, Barroso DS, Costa GD (2019) Evaluación económica de ganado post-destete y finalizado suplementado en pastoreo de *Brachiaria brizantha*. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10(3): 595-609. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4896>.
- Quispe CA, Paquiyauri Z, Ramos YV, Contreras JL, Veliz MA (2016) Influencia de niveles de azufre en la producción, composición química bromatológica y digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 27(1): 31-38. <https://doi.org/10.15381/rivep.v27i1.11457>.
- Rodríguez MS, Flores SD, León MA, Pérez HLM, Aguilar ÁJ (2018) Diagnóstico de sistemas de producción de bovinos para carne en Tejupilco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(2): 465-471. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1086>.
- Rojas JLA, Jaramillo VJL, Vargas LS, Bustamante GA, Guerrero RJD (2022) Transmisión vertical y horizontal de precios en el sub-sector ganado carne de bovino en México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(3): e3307. <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3307>.
- Ricalday VTA, Guerrero CM, Pinzón DCE, Salas PJM (2022) Concentración de metabolitos y evaluación de parámetros productivos en cabras lecheras alimentadas con forraje verde hidropónico. *Interciencia* 40(3): 70-74.
- Santiago SAD, Velázquez CL, Moreno DJM, Salazar SV (2020) Innovación e integración productiva en un sistema bovino con doble propósito del noroeste de México. *Región y Sociedad* 32 e1372. <https://doi.org/10.22198/rys2020/32/1372>.
- Sánchez-Santillán P, Cobos-Peralta MA (2016) Producción in vitro de ácidos grasos volátiles de bacterias celulolíticas reactivadas y bacterias ruminales totales en sustratos celulósicos. *Agrociencia* 50(5): 565-574.
- Salvador CJM, Bolaños GMA, Cedillo AAK, Vázquez CY, Varela GSA, Meza DJL (2022) Efecto de la aplicación de soluciones nutritivas en la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* y *Hordeum vulgare*. *Terra Latinoamericana* 40: 1-17. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.996>.
- Salas PL, Preciado RP, Esparza RJR, Álvarez RVP, Palomo GA, Rodríguez DN, Márquez HC (2010) Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana* 28(4): 355-360.
- Villa-Herrera A, Nava-Tablada ME, López-Ortíz S, Vargas-López S, Ortega-Jiménez E, López FG (2009) Utilización del Guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) como fuente de forraje en la ganadería bovina extensiva del trópico mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10(2): 253-261.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(10): 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).

- Valdés MFE, Saavedra GML (2019) Análisis crítico sobre el uso del SROI en la evaluación del impacto social en iniciativas de emprendimiento social: caso México. *AD-Minister* 35: 53-76. <https://doi.org/10.17230/Ad-minister.35.2>.
- Vargas RCF (2008) Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 19(2): 233-240.
- Villalobos RV, Quirós BDF (2022) Costo y efecto de la suplementación con Forraje Verde Hidropónico: estudio de caso. *Revista e-Agronegocios* 8(1): 1-18 <https://doi.org/10.18845/ea.v8i1.5596>.