



EFFECT OF SUPPLEMENTATION WITH HYDROPONIC GREEN CORN FORAGE ON THE HEMATOLOGICAL AND PRODUCTIVE PARAMETERS OF PREGNANT GOATS AND THEIR PROGENY †

[EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ SOBRE LOS PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS Y PRODUCTIVOS DE CABRAS GESTANTES Y SU PROGENIE]

Ana C. Jiménez-Del Carmen¹, Guadalupe Espejo-Beristain¹,
Miriam Barradas-Moctezuma², Andrea L. Suardiáz-Solé¹,
Nancy Domínguez-González¹ and Fernando Naranjo-Chacón^{1*}

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, campus Xalapa, Universidad Veracruzana. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, C.P. 91090, Xalapa de Enríquez, Ver., México. jimenezanitha09@gmail.com, gespejo@uv.mx, asuardiaz@uv.mx, nadominquez@uv.mx, fnaranjo@uv.mx*

²Instituto de Investigaciones Cerebrales, Universidad Veracruzana. Dr. Castelazo Ayala s/n, Industrial Animas, C.P. 91190, Xalapa-Enríquez, Ver., México. mibarradas@uv.mx.

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The growing global population and food security challenges demand sustainable solutions. In rural communities, goat farming is essential but faces high costs and limitations in animal feed. Hydroponic green forage (HGF) is emerging as an efficient and sustainable alternative, providing high digestibility and key nutrients for ruminants. **Objective:** To evaluate the effect of corn HGF supplementation on the hematological and productive parameters of pregnant goats and their progeny. **Methodology:** The study was conducted on an agroecological farm in Coatepec, Veracruz, with 20 pregnant goats assigned to two groups: G1 (HGF) and G2 (commercial concentrate). The HGF was produced in a greenhouse following strict germination and irrigation protocols, harvested at 12 days. The goats were managed under controlled conditions. Hematological parameters (red and white blood cell counts) and productive parameters (birth weight, weaning weight, and daily weight gain) were analyzed. Data were subjected to ANOVA and Tukey HSD test ($P \leq 0.05$). **Results:** Goats fed with HGF showed significantly higher levels of erythrocytes ($P < 0.03$), hematocrit ($P < 0.02$), and hemoglobin ($P < 0.01$). Their offspring achieved greater weaning weights ($P < 0.002$) and daily weight gains ($P < 0.004$). No significant differences were observed in birth weight or body condition. Goats in the concentrate group exhibited lower metabolic balance and greater susceptibility to nutritional deficiencies. **Implications:** Corn HGF is a sustainable strategy to improve metabolic and productive parameters in goat farming, highlighting its utility in agroecological systems and its capacity to optimize local resources. The long-term benefits in productivity and animal health justify the initial investment in infrastructure. **Conclusions:** HGF proved to be an efficient option for critical stages such as gestation and lactation, offering nutritional advantages that surpass those of commercial concentrates. **Key words:** livestock; sustainability; nutrition; immunity.

RESUMEN

Antecedentes: La creciente población mundial y los desafíos de seguridad alimentaria demandan soluciones sostenibles. En comunidades rurales, la caprinocultura es esencial, pero enfrenta altos costos y limitaciones en la alimentación animal. El forraje verde hidropónico (FVH) se perfila como una alternativa eficiente y sostenible, proporcionando alta digestibilidad y nutrientes clave para rumiantes. **Objetivo:** Evaluar el efecto de la suplementación con FVH de maíz sobre los parámetros hematológicos y productivos de cabras gestantes y su progenie. **Metodología:** El estudio se realizó en una granja agroecológica en Coatepec, Veracruz, con 20 cabras gestantes asignadas a dos

† Submitted January 18, 2024 – Accepted May 5, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6155>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = G. Espejo-Beristain: <https://orcid.org/0000-0002-0207-9774>; M. Barradas-Moctezuma: <https://orcid.org/0009-0006-8437-473X>; A.L. Suardiáz-Solé: <https://orcid.org/0000-0003-0080-8651>; N. Domínguez-González: <https://orcid.org/0000-0002-5422-2309>; F. Naranjo-Chacón: <https://orcid.org/0000-0002-5895-3272>

grupos: G1 (FVH) y G2 (concentrado comercial). El FVH se produjo en invernadero siguiendo protocolos estrictos de germinación y riego, cosechándose a los 12 días. Las cabras fueron manejadas bajo condiciones controladas. Se analizaron parámetros hematológicos (células de la serie roja y blanca) y productivos (peso al nacimiento, peso al destete y ganancia diaria de peso). Los datos se sometieron a un ANOVA y prueba de Tukey HSD ($P \leq 0.05$). **Resultados:** Las cabras alimentadas con FVH mostraron niveles significativamente mayores de eritrocitos ($P < 0.03$), hematocrito ($P < 0.02$) y hemoglobina ($P < 0.01$). Sus crías alcanzaron mayores pesos al destete ($P < 0.002$) y ganancias diarias de peso ($P < 0.004$). No se observaron diferencias significativas en peso al nacimiento ni condición corporal. Las cabras del grupo con concentrado presentaron menor balance metabólico y mayor susceptibilidad a deficiencias nutricionales. **Implicaciones:** El FVH de maíz es una estrategia sostenible para mejorar parámetros metabólicos y productivos en la caprinocultura, destacando su utilidad en sistemas agroecológicos y su capacidad para optimizar recursos locales. Los beneficios en productividad y salud animal a largo plazo justifican la inversión inicial en infraestructura. **Conclusiones:** El FVH demostró ser una opción eficiente para etapas críticas como la gestación y lactación, ofreciendo ventajas nutricionales que superan al concentrado comercial. **Palabras clave:** ganadería; sostenibilidad; nutrición; inmunidad.

INTRODUCCIÓN

Según estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la población mundial asciende a más de 8 000 millones de personas y se proyecta que alcanzará los 9 700 millones para el año 2050 (Bongaarts, 2020). Como consecuencia de este crecimiento, el Programa Mundial de Alimentos y el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola de la ONU advierten sobre el riesgo inminente de una hambruna masiva que podría afectar a cientos de millones de personas (McGuire, 2013). Factores como los conflictos de guerra, sequía, altas temperaturas provocadas por el cambio climático e interrupciones en la cadena de suministro postpandemia (Laborde *et al.*, 2020), han infligido un golpe significativo a los mercados de productos básicos, especialmente alimentos y energía, afectando los patrones globales de comercio, producción y consumo, generando la peor crisis de seguridad alimentaria (Laborde *et al.*, 2020, Mendoza-Barrientos *et al.*, 2024).

Uno de los principales desafíos para la seguridad alimentaria es enfrentar la escasez de suministros alimentarios (Huang *et al.*, 2021). En este contexto, la producción ganadera desempeña un papel fundamental para la subsistencia humana, ya que contribuye significativamente a la reducción de la pobreza y la desnutrición en los países en desarrollo (Bonilla-Cedrez *et al.*, 2023). En México, la caprinocultura ha sido tradicionalmente un pilar de la economía en comunidades de subsistencia y representa una fuente importante de alimentos energéticos y proteicos de excelente calidad (Ramos-Martínez *et al.*, 2021). Sin embargo, al igual que en otras actividades pecuarias, la principal limitante para el desarrollo de la caprinocultura es el abasto de alimento de calidad para los animales (Makkar, 2016).

En este momento, el índice de precios de los alimentos y productos agrícolas utilizados en la alimentación de animales de producción ha alcanzado niveles históricos, afectando la sostenibilidad y eficiencia de

la producción ganadera (Khanal, 2024, Makkar, 2016). Los alimentos utilizados en las dietas de los animales en los diferentes sistemas productivos representan el mayor componente de costo individual, oscilando entre el 60 % y el 85 %, dependiendo de la especie (Kırkpınar y Açıkgöz, 2018). Esto se debe a que gran parte de los alimentos para animales a nivel mundial se produce mediante agricultura convencional (Van Kernebeek *et al.*, 2016). No obstante, la actividad agrícola enfrenta graves limitaciones como la presencia de organismos patógenos o la baja fertilidad de los suelos (Sheoran *et al.*, 2019). Estos factores, sumados a los desafíos de sostenibilidad que implican mantener o aumentar la producción mientras se reduce la huella ambiental y se mejora la aceptación social (Bidoglio *et al.*, 2024, Dumont *et al.*, 2018, Zabel *et al.*, 2019) complican la independencia de los insumos comerciales (Gomiero, 2019).

Una opción actualmente en discusión es promover que los agricultores adopten principios agroecológicos (Alexandre *et al.*, 2014), que buscan aprovechar los procesos ecológicos para minimizar el uso de insumos, reducir la generación de desechos, preservar los recursos naturales y utilizar la diversidad para fortalecer la resiliencia de los sistemas. Este enfoque se basa principalmente en la diversificación de especies (redes alimentarias más complejas), el ciclo de nutrientes (integración cultivo-ganadería), la regulación biológica y la reconexión de los sistemas alimentarios (Altieri y Nicholls, 2013, Sijpestijn *et al.*, 2022).

Partiendo de la premisa de que los sistemas mixtos de cultivos y ganadería poseen características necesarias para lograr la sostenibilidad, los principios agroecológicos, como la diversidad de especies (vegetales y animales) y las sinergias creadas mediante la integración de la producción agrícola y ganadera, son esenciales (Bonaudo *et al.*, 2014). Estos principios contribuyen a algunas de las propiedades emergentes esperadas de los sistemas pecuarios sostenibles, tales como la autosuficiencia, productividad, eficiencia y

resiliencia (Puech y Stark, 2023, Zahm *et al.*, 2024). En este contexto, la integración cultivo-ganadería y el reciclaje de nutrientes plantean la cuestión del uso eficiente de los recursos, en particular el papel de los recursos intermedios como el forraje para la alimentación animal (Barbieri *et al.*, 2022, Thénard *et al.*, 2024).

El forraje verde es un insumo esencial en la alimentación y salud animal, especialmente en animales rumiantes (Baumont *et al.*, 2000, Mellado *et al.*, 2017, Tedeschi *et al.*, 2021). Es un alimento natural, altamente apetecible y digerible, enriquecido con micronutrientes que mejoran la digestibilidad, la salud y el rendimiento de los animales, en comparación con los forrajes secos o concentrados (Gabrieli y Malkinson, 2024, Jemimah *et al.*, 2018).

Diversos estudios han demostrado que el FVH, comparado con sus respectivos granos, a menudo presenta un menor contenido de materia orgánica (MO) y carbohidratos no fibrosos (CNF), pero un mayor contenido de proteína bruta (Power *et al.*, 1996), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y cenizas (Chavan *et al.*, 1989, Soto *et al.*, 2012, Thadchanamoorthy y Pramalai, 2012). Estas características lo convierten en un excelente alimento para animales lecheros (Chavan *et al.*, 1989, Naik *et al.*, 2014, Naik *et al.*, 2012, Shewry *et al.*, 1995, Uvidia *et al.*, 2023, Zeferino-Hernández *et al.*, 2021). Además, la suplementación con forraje hidropónico de maíz y cebada en animales lecheros ha mejorado la producción láctea, lo cual se atribuye a los mayores niveles de nutrientes digestibles totales presentes en la dieta (Agius *et al.*, 2019, Boğa *et al.*, 2023, Girma y Gebremariam, 2018, Naik *et al.*, 2014, Naik *et al.*, 2016, Wu *et al.*, 2024). Por ello, la incorporación de FVH en la ración general de alimentación, no solo optimiza la salud, la digestibilidad y la producción láctea, sino que también mejora el rendimiento del ganado (Farghaly *et al.*, 2019), reduce el estrés calórico (Kurade *et al.*, 2017) y podría mejorar la inmunidad de los animales (Arif *et al.*, 2023).

Actualmente, el sistema de producción de FVH es una tecnología alternativa empleada en la producción de forraje para la suplementación de animales, debido a que este sistema no utiliza la tierra como medio de siembra y no depende directamente de las variaciones climatológicas (Fazaeli *et al.*, 2021, Naik *et al.*, 2015), lo que lo convierte en una opción viable para reducir la brecha en el suministro de alimentos de calidad y fomentar la producción sostenible, sin embargo, es necesario conocer los efectos del forraje en las cabras que se encuentran en sistemas agroecológicos así como sus crías. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con FVH de maíz sobre los parámetros hematológicos y productivos de cabras gestantes y su progenie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una granja agroecológica ubicada en el municipio de Coatepec, Veracruz, México (19°28'22" N, 96°58'27" O, a una altitud de 1230 msnm, con temperatura media anual de 21 °C y precipitación anual de 1123 mm).

Animales y manejo

Se evaluaron 20 cabras (Alpinas y Saanen) y sus crías. Como características particulares, las cabras eran múltiparas (3-4 paridades), con una condición corporal (CC) promedio de 3.0-3.5 (escala de 5 puntos: 1= emaciada y 5= obesa (Villaquirán *et al.*, 2004). Una vez confirmada la preñez en las cabras, a las doce semanas de gestación fueron asignadas aleatoriamente a dos grupos: G1) Suplementación con FVH (G1; n=10): las cabras recibieron la suplementación a partir de la semana 12 de gestación (día 84) hasta la semana 4 posparto (día 28 de lactación); y G2) Suplementación con concentrado comercial (G2; n=10): alimentadas durante el mismo periodo con concentrado comercial para animales lecheros (® Lechera 18 % PC). Adicional a su ración, las cabras pastaban diariamente en áreas aledañas entre las 11:00 y las 14:00 h. Adicionalmente, las cabras fueron pesadas con una báscula digital

Desde la semana 12 de gestación y hasta la semana 4 posparto, las cabras fueron alojadas según su grupo, en una superficie de 6.0 m x 6.0 m, con piso de madera suspendido y ranurado para el manejo de excretas. Cada corral contaba con 3 bebederos automáticos del tipo cazoleta y un comedero de canoa para proporcionar la alimentación. Cada cabra del G1, recibió 600 g de FVH de maíz al día durante su tratamiento, lo que corresponde al 1.5 % de su peso y esto según a las recomendaciones de Ahamed *et al.* (2023); mientras que el G2, recibió 500 g de alimento concentrado al día, durante el mismo periodo. Como parte del manejo sanitario y preventivo de la granja, las cabras son desparasitadas internamente cada seis meses (Alban 10 % ®) y reciben una vacunación anual contra las principales bacterias y virus (CLOSTRIGEN®9 + T). Asimismo, recibieron una aplicación de vitaminas y minerales cada seis meses. Por otro lado, la dieta de los cabritos consistió en leche *ad libitum* durante los primeros cinco días, y posteriormente el 10 % de su peso vivo, repartida en dos tomas hasta la cuarta semana de edad (destete).

Forraje verde hidropónico de maíz (FVH)

La producción de FVH se llevó a cabo en una infraestructura similar a un invernadero, manteniendo una temperatura promedio de 31 °C y una humedad entre el 55 % y el 85 %. Como primer paso, se evaluó la viabilidad de las semillas mediante el método de

germinación estándar "entre papel", seleccionando un total de 500 semillas de maíz (*Zea mays*) variedad criolla "Tlalnelhuayocan". Las semillas se colocaron en charolas cubiertas con plástico negro y se dispusieron en un rack vertical para FVH. Se evaluó el porcentaje de germinación al cabo de 7 días mediante la contabilización y una regla de tres (número de semillas germinadas por el total de semillas entre el 100 %). Para el análisis bromatológico se tomó una muestra de 300 g de FVH, la cual se almacenó en una bolsa de papel etiquetada y se envió al laboratorio de nutrición animal y forrajes del Centro de Investigación Regional Golfo-Centro Campo Experimental "La Posta" del INIFAP en Paso del Toro, Veracruz, México.

El procedimiento para elaborar el FVH incluyó los siguientes pasos:

A) Selección y pesaje de semilla: las semillas se revisaron manualmente para eliminar aquellas en mal estado (rotas o dañadas) y cuerpos extraños, obteniendo un peso total de 6,4 kg de maíz. **B)** Prelavados: primero, las semillas se enjuagaron con agua para remover impurezas superficiales; luego, se lavaron con una solución de agua y cloro (1 mL de cloro por 1 L de agua) durante un máximo de 15 minutos seguido por dos lavados adicionales con agua limpia. **C)** Hidratación: las semillas se colocaron en un recipiente con agua limpia durante 24 horas para hidratación. **D)** Oxigenación: posteriormente, se escurrieron durante una hora para permitir la oxigenación. **E)** Rehidratación y lavado: tras la oxigenación, las semillas se sumergieron en una solución de agua con cal (dosis de 50 g de cal hidratada por litro de agua) durante 30 minutos, seguido de dos lavados con agua limpia. **F)** Siembra: la siembra se realizó en charolas de plástico rígido de 125 cm², distribuyendo uniformemente 800 g de semillas por charola (usando un total de 8 charolas por día). Cada charola fue cubierta con plástico negro y colocada en el estante para FVH con capacidad para 100 charolas.

G) Riego: durante los primeros cinco días, se regaron las charolas cada 2 horas, aplicando 200 mL de agua limpia en cada riego mediante un atomizador de 1 L. A partir del quinto día, se retiró el plástico de las charolas y se incrementó la cantidad de agua a 300 mL por riego, manteniendo el intervalo de cada 2 horas. **H)** Cosecha: la cosecha se realizó al día 12.

Parámetros hematológicos

En la semana 12 de gestación y la semana 4 posparto, es decir, antes y al final del tratamiento, se extrajo una muestra de sangre de las cabras de los G1 y G2, con el objetivo de evaluar las concentraciones de las células de la serie roja (eritrocitos, hematocrito, hemoglobina, HCM (Hemoglobina Corpuscular Media), CHCM (Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media) y la serie blanca (leucocitos, plaquetas, neutrófilos, eosinófilos, basófilos y monocitos). Para la toma de muestras, las cabras fueron manejadas dentro del corral, empleando la técnica de sujeción de mandíbula. Se recolectaron 5 mL de sangre de la vena yugular de cada cabra, utilizando tubos de ensayo para venopunción con una aguja estéril (vacutainer de 21 G x 38 mm), cambiando de aguja entre cabras para evitar cualquier contaminación. La sangre se obtuvo en los primeros 3 minutos de sujeción para minimizar el sesgo debido al manejo (Romero y Reed, 2005). Las muestras se transfirieron inmediatamente a tubos Vacutainer® con anticoagulante EDTA, con capacidad de 4 mL y se mantuvieron a temperatura ambiente durante 30 minutos. La recolección de muestras se realizó entre las 8:00 y las 10:00 h. Posteriormente, las muestras fueron procesadas en el laboratorio de análisis clínico "Gainza", en la ciudad de Veracruz, México.

Evaluación de la condición corporal

Durante la semana 4 posparto (final del destete), se evaluó la CC, utilizando la técnica de (Villaquirán *et al.*, 2004), descrita en la tabla 1.

Tabla 1. Puntuaciones de condición corporal en cabras.

Concepto	Descripción
CC=1	La cabra presenta un aspecto demacrado y débil. Su columna vertebral es prominente y claramente visible, con los flancos hundidos y las costillas marcadas. No tiene capa de grasa protectora, y los espacios entre las costillas se pueden palpar fácilmente con los dedos.
CC=2	La cabra se ve delgada, con la columna vertebral aún visible y las costillas claramente marcadas. Posee una capa delgada de grasa, aunque al pasar los dedos se pueden palpar las costillas. Sin embargo, los espacios intercostales se sienten lisos.
CC=3	La columna vertebral no es prominente y las costillas apenas son visibles, cubiertas por una capa uniforme de grasa. Los espacios intercostales solo se perciben al aplicar presión.
CC=4	La columna vertebral y las costillas no son visibles, dando al animal una apariencia saludable.
CC=5	La columna vertebral y la caja torácica están cubiertas por una capa abundante de grasa, de modo que las costillas no son visibles.

Evaluación de parámetros productivos

Se evaluaron los parámetros productivos de las cabras y de sus crías al nacimiento y destete en los diferentes grupos. Los parámetros evaluados fueron peso al nacimiento (PN), peso al destete (Power *et al.*, 1996) y ganancia diaria de peso (GDP), mediante la fórmula (GDP= Peso final-Peso inicial/Edad (días)).

Análisis estadístico

Se utilizó un ANOVA de dos vías para evaluar los parámetros hematológicos de las cabras, considerando como factores el tratamiento (con FVH o Concentrado) y periodo fisiológico (12 semanas de gestación o 4 semanas posparto), así como su interacción. Para los parámetros productivos y la CC se utilizó un ANOVA de una vía, considerando como factor el tratamiento. Para evaluar las diferencias de medias, se utilizó la prueba de Tukey HSD. Para todas las pruebas, el valor de *P* se fijó en 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Seleccionar semillas de maíz con alta viabilidad y capacidad de germinación es fundamental para garantizar una producción eficiente y de calidad en sistemas de FVH (Sabando y Avellan, 2023), en el presente estudio, como resultado de la prueba de viabilidad, se obtuvo una germinación del 95 % de las semillas. Similar a lo reportado por otros autores, quienes encontraron entre el 90 y 100 % de germinación (Escobar-Álvarez *et al.*, 2021, Guillen-de laCruz *et al.*, 2018).

En la tabla 2, se muestran los resultados del análisis bromatológico del FVH, donde la proteína cruda (PC) destaca como un indicador clave de calidad. El maíz criollo utilizado mostró un 12.9 % de PC, comparable con valores reportados en otros estudios 12.2-13.5 %, respectivamente (Albert *et al.*, 2016, Pérez *et al.*, 2012). La PC aumenta con la edad de la planta, alcanzando su máximo entre los 12-16 días tras la siembra, antes de disminuir por lignificación (Borja y Perlará, 2009). Además, el FVH requiere al menos un 7 % de PC para una fermentación ruminal adecuada. Por otro lado, la materia seca (MS) es crucial para la densidad de nutrientes, la aceptación del ganado y debe oscilar entre el 20-30 % (Herrera y Guerrero, 2022). Por otra parte, los valores de fibra detergente neutra (FDN) y ácida (FDA) inferiores al 40 % y 32 %, respectivamente, garantizan buena digestibilidad y consumo (Birgi *et al.*, 2018). Por lo tanto, los valores obtenidos del FVH en este experimento cumplen con los requerimientos necesarios para integrarse en la dieta animal y aportar los nutrientes esenciales.

Tabla 2. Análisis bromatológico del Forraje Verde Hidropónico (% base seca, excepto dónde se indica).

Determinación	%
Materia seca (100 °C) (% base fresca)	23.33
Proteína Cruda (N x 6.25)	12.9
Fibra (Fibra Detergente Neutro)	26.01
Materia Mineral (550-600 °C)	2.08
FDA (Lignocelulosa)	8.95
Lignina	0.5

Parámetros hematológicos

Respecto a los parámetros hematológicos en las cabras, se observaron diferencias en las concentraciones de eritrocitos según el tratamiento y el periodo fisiológico. Las cabras del G1 alimentadas con FVH presentaron mayores concentraciones de eritrocitos que aquellas alimentadas con concentrado G2 ($P<0.03$). Además, los valores fueron significativamente más altos en el G1 en la semana 12 de gestación respecto a la semana 4 de lactación ($P<0.01$); no obstante, no se detectaron diferencias significativas en la interacción entre tratamiento y periodo fisiológico ($P>0.07$).

En cuanto al hematocrito, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.07$), pero sí entre periodos fisiológicos ($P<0.02$), encontrando mayores valores durante la semana 12 de gestación en comparación con la semana 4 de lactación en ambos grupos. Asimismo, se encontró una interacción significativa ($P<0.01$), en donde las cabras alimentadas con concentrado presentaron menores concentraciones de hematocrito durante la semana 4 de lactación.

En relación con la hemoglobina, se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. Las cabras alimentadas con FVH presentaron niveles más altos de hemoglobina que las alimentadas con concentrado ($P<0.01$). En ambos grupos, los niveles de hemoglobina fueron mayores en la semana 12 de gestación en comparación con la semana 4 de lactación ($P<0.01$). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en la interacción ($P>0.08$).

Con respecto a los valores de HCM y CHCM, las diferencias significativas se observaron únicamente por tratamiento ($P<0.04$ y $P<0.01$, respectivamente), donde las cabras alimentadas con FVH mostraron mayores concentraciones. No se detectaron diferencia significativa en los periodos fisiológicos ni en la interacción entre factores.

En cuanto a las concentraciones de leucocitos, se observaron diferencias significativas asociadas al periodo fisiológico ($P<0.02$). Donde, en particular, las

cabras alimentadas con concentrado presentaron mayores concentraciones de leucocitos durante la semana 4 de lactación. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en los niveles de plaquetas, ni en los porcentajes de basófilos, eosinófilos, linfocitos, monocitos y neutrofilos entre los diferentes grupos (Tabla 3).

El análisis de los componentes sanguíneos es fundamental, ya que permite identificar alteraciones generales, así como posibles disfunciones en órganos o sistemas específicos. Los hallazgos observados en el presente estudio parecen estar relacionados con la calidad nutricional y el posible impacto metabólico de la dieta. Los valores elevados de eritrocitos, hematocrito, hemoglobina, HCM y CHCM observados en el G1 de cabras, podrían indicar una mejor capacidad inmunológica en comparación con el G2. Esto concuerda con valores reportados para cabras lecheras del altiplano mexicano (Gámez-Vázquez *et al.*, 2022, Martínez-Grimaldo *et al.*, 2018). Este efecto positivo puede atribuirse a una mayor biodisponibilidad de micronutrientes esenciales y a un balance energético más adecuado durante la gestación proporcionado por el FVH de maíz.

Y es que, el forraje verde producido hidropónicamente, además de ser altamente palatable, presenta diversas actividades enzimáticas que descomponen las proteínas complejas en albúmina, globulina y aminoácidos, mejorando significativamente la calidad proteica (Fazaeli *et al.*, 2012). También, estimula la actividad de enzimas como la amilasa y la lipasa, incrementando el contenido de azúcares y ácidos grasos. Este forraje es una rica fuente de vitaminas A, E y β -carotenos, que ayudan a reducir el estrés oxidativo, además de contener tiamina, riboflavina, ácido fólico libre, biotina y minerales esenciales para la eritropoyesis y la síntesis de hemoglobina (Ahamed *et al.*, 2023, Chung *et al.*, 1989, Finney, 1983).

En contraste, el G2 que mostró un descenso significativo en los parámetros hematológicos hacia el final de la lactación, sugiriendo posibles deficiencias nutricionales derivada del uso de alimento comercial concentrados. Estas deficiencias, sumadas al agotamiento de reservas por el aumento en las demandas metabólicas durante la gestación y la lactación, no fueron compensadas por la dieta. Durante la gestación, las cabras experimentan un aumento en sus necesidades de energía, proteínas, vitaminas y minerales para sostener el desarrollo fetal y prepararse para la lactancia (Härter *et al.*, 2016). En sistemas de pastoreo en regiones tropicales, la calidad y disponibilidad de los forrajes pueden ser limitadas, lo que dificulta satisfacer estos requerimientos (Allen y Segarra, 2001). Es esencial proporcionar suplementos nutricionales adecuados para evitar deficiencias nutricionales que puedan comprometer la salud de la madre y el desarrollo de las crías (Härter *et al.*, 2016, Oliveira *et al.*, 2021). Por otro lado, el uso de alimentos comerciales de baja calidad durante la gestación se ha asociado con problemas como bajo peso al nacimiento de las crías, disminución en la producción láctea y mayor susceptibilidad a enfermedades (Ali *et al.*, 2019, Maji *et al.*, 2023).

El aumento de leucocitos observado al finalizar la lactación en el G2, podría reflejar el impacto de una dieta rica en energía, pero deficiente en nutrientes, lo cual afecta negativamente la actividad metabólica e inmune durante periodos de alta demanda fisiológica como la gestación y lactación (Napso *et al.*, 2018, Vernon y Pond, 1997). Además, aunque no hubo diferencias significativas entre grupos, se observó una neutrofilia que podría ser indicativa de inflamación subclínica, posiblemente inducida por el esfuerzo metabólico necesario para mantener altos niveles de producción láctea, además de sugerir una mayor susceptibilidad a infestaciones parasitarias como lo indica también la eosinofilia detectada (Birgel *et al.*, 2014).

Tabla 3. Media + SEM (error estándar de la media), de los parámetros hematológicos evaluados en las cabras y el valor de referencia (V.R).

Células	V.R	G1(12SDG)	G2 (12SDG)	G1(4SDL)	G2 (4SDL)	SEM
Eritrocitos	9 - 14 x 10 ¹² / L	11.2 ^a	11.1 ^a	10.4 ^a	8.8 ^b	0.3
Hematocrito	28 – 40 %	29.2 ^a	29.7 ^a	28.3 ^a	25.6 ^b	0.6
Hemoglobina	8 – 15 g / dl	12.6 ^a	12.1 ^a	10.9 ^a	8.4 ^b	0.5
HCM	9 – 12 pg	10.4 ^a	9.8 ^{ab}	10.2 ^a	9.3 ^b	0.2
CHCM	30 – 37 g/dL	36.3 ^c	35.0 ^{ab}	36.1 ^{bc}	34.6 ^a	0.3
Leucocitos	4 - 12 x10 ⁹ /L	9.2 ^a	9.9 ^{ab}	10.5 ^{ab}	12.8 ^b	0.7
Plaquetas (mm ³)	185,000 – 950,000	484,500	501,400	507,300	501,400	54.460
Basófilos (%)	0.5	0.3	0.3	0.5	0.2	0.1
Eosinófilos (%)	4.2	5	4.9	4.3	5.5	0.3
Linfocitos (%)	48.8	49.1	47.7	47.6	43.4	0.9
Monocitos (%)	0.5	0.3	0.5	0.3	0.4	0.03
Neutrófilos (%)	46.0	45.3	46.6	46.1	51.7	1.5

^{a,b,c} Diferentes superíndices por fila indican diferencia estadística ($P < 0.05$).

Por otro lado, el grupo G1 presentó una respuesta inmune más equilibrada, sin incrementos significativos en leucocitos ni alteraciones notables en los parámetros hematológicos. Esto sugiere que, aunque esta dieta es menos energética, promovió un balance metabólico que permitió a las cabras afrontar las demandas fisiológicas de la gestación y lactación sin comprometer su salud inmunológica (Adams, 2006, Ceriac *et al.*, 2017). Tal y como han demostrado algunos estudios donde dietas menos concentradas pueden reducir el estrés metabólico y limitar la incidencia de procesos inflamatorios (Abdelsattar *et al.*, 2023, Khiaosa-Ard y Zebeli, 2018, Yan *et al.*, 2014).

Parámetros productivos

En cuanto a los parámetros productivos de las cabras, se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el peso al destete y la ganancia diaria de peso. Las crías del G1 presentaron mayores pesos al destete ($P<0.002$) y una mayor ganancia diaria de peso ($P<0.004$) en comparación con el G2 ($P>0.05$). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el peso al nacimiento ni en la condición corporal entre los grupos (Tabla 4).

Tabla 4. Media + SEM (error estándar de la media), de los parámetros productivos evaluados en las cabras.

Parámetros	G1	G2
Peso al nacimiento (kg)	4.4 ± 0.3	3.6 ± 0.3
Peso al destete (kg)	$8.1^a \pm 0.2$	$5.9^b \pm 0.5$
Ganancia diaria de peso (g)	$132^a \pm 5.5$	$82^b \pm 5.5$
Condición corporal	2.7 ± 0.3	2.4 ± 0.3

^{a,b} Diferentes superíndices por fila indican diferencia estadística ($P<0.05$).

Los resultados sugieren que la alimentación de las cabras madres con FVH de maíz durante la gestación y el periodo de lactancia tuvo un impacto positivo en los parámetros productivos de sus crías. Estos resultados se encuentran dentro de los rangos reportados en estudios previos (Brito *et al.*, 2008, Chacón-Hernández y Boschini-Figueroa, 2016). En la mayoría de los mamíferos, la alimentación durante las últimas semanas de gestación es crucial, ya que coincide con el periodo de desarrollo mamario (Aubry *et al.*, 2012) y de formación del calostro (Pecka-Kiełb *et al.*, 2018). Estos factores tienen un impacto directo en el rendimiento general de las crías, incluyendo peso al nacimiento (Murniati *et al.*, 2015), la ganancia diaria de peso (McGregor, 2016), el peso final y el estado de salud a lo largo de su vida (Zamuner *et al.*, 2023).

En contraste, en el G2, las cabras preñadas con una alimentación basado en pastoreo y suplementación con alimento comercial (de bovino) puede ocasionar una subnutrición, producir toxemia de la preñez, muerte de animales, nacimientos de crías con bajo peso, baja reserva en energía y vitalidad pobre, debido principalmente a la restricción alimenticia que pueden tener estos animales bajo este sistema de producción, lo que afecta negativamente el comportamiento materno, rechazo de la crías al parto, disminución de la producción de calostro y leche, teniendo una posibilidad de muerte de los cabritos, conduciendo a pérdidas productivas y económicas (Freitas-de-Melo *et al.*, 2018). Además, estudios en animales lecheros han mostrado que tanto la desnutrición como la sobre nutrición en etapas tempranas pueden tener efectos persistentes que impacten negativamente el rendimiento a largo plazo, especialmente en hembras (Curtis *et al.*, 2018, Johnsen *et al.*, 2016).

Respecto a la CC, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos. La CC está relacionada con la capacidad de acumular reservas de energía corporal, la eficiencia reproductiva y, recientemente, se considera un indicador de bienestar animal. Una CC de 3, refleja un estado metabólico equilibrado, que indica bienestar nutricional y metabólico. Este estado se caracteriza por concentraciones intermedias de glucosa plasmática, glucagón, insulina sérica, albúmina y globulinas, junto con niveles bajos de urea sérica y creatinina (Caldeira *et al.*, 2007, Chavarría-Aguilar *et al.*, 2015). Sobre todo, durante periodos fisiológicos que requieren un alto consumo de nutrientes como los evaluados en este estudio y donde los animales pueden volverse más vulnerables a trastornos metabólicos, que afectan parámetros bioquímicos y hematológicos (Anusha *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

La inclusión de FVH de maíz en la dieta de cabras durante la gestación y lactación mejoró los parámetros productivos y hematológicos, favoreciendo el bienestar animal y el rendimiento de las crías. Las cabras suplementadas con FVH mostraron mayores niveles de eritrocitos, hematocrito y hemoglobina, lo que se tradujo en mejores pesos al destete y ganancia diaria de peso en sus crías. En contraste, el uso de alimento concentrado evidenció deficiencias nutricionales que comprometieron el desempeño metabólico e inmunológico, destacando al FVH de maíz como una alternativa nutricional sostenible y eficiente.

Acknowledgments

The authors thank the Coatepec agroecological farm for its contribution to the experiment at this site and for the care of the animals.

Funding. This research did not receive any funding from public, commercial, or nonprofit funding agencies.

Declaration of conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards. The bioethics and animal welfare commission notes that it examined and approved the research work entitled: “effect of hydroponic corn green forage supplementation on hematological and productive parameters of pregnant goats and their progeny”, considering that all experimental procedures used in the animals were carried out in accordance with the internal regulations of the faculty of veterinary medicine and animal science of the universidad veracruzana (animal welfare section, title vii chapters i, ii, iii, iv, articles 92 to 124).

Data availability. Data is available with: G Espejo-Beristain, gespejo@uv.mx

Author contribution statement (CRediT). A.C. Jiménez-del Carmen – Investigation, Methodology, Project administration. G. Espejo-Beristain – Investigation, Methodology, Project administration, Validation. M Barradas-Moctezuma – Resources, Project administration. A. L. Suardiá-Solé – Writing-review & editing, Supervision. N. Domínguez-González – Formal analysis, Writing-review & editing, Supervision., F. Naranjo-Chacón – Project administration, Supervision, investigation, Resources, Validation.

REFERENCES

- Abdelsattar, M.M., Zhao, W., Saleem, A.M., Kholif, A.E., Vargas-Bello-Pérez, E. and Zhang, N. 2023. Physical, metabolic, and microbial rumen development in goat kids: A review on the challenges and strategies of early weaning. *Animals*, 13, pp. 2420. <https://doi.org/10.3390/ani13152420>
- Adams, C.A. 2006. Nutrition-based health in animal production. *Nutrition Research Reviews*, 19, pp. 79-89. <https://doi.org/10.1079/NRR2005115>
- Agius, A., Pastorelli, G. and Attard, E. 2019. Cows fed hydroponic fodder and conventional diet: effects on milk quality. *Archives Animal Breeding*, 62, pp. 517-525. <https://doi.org/10.5194/aab-62-517-2019>
- Ahamed, M.S., Sultan, M., Shamshiri, R.R., Rahman, M.M., Aleem, M. and Balasundram, S.K. 2023. Present status and challenges of fodder production in controlled environments: A review. *Smart Agricultural Technology*, 3, pp. 100080. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100080>
- Albert, G., Alonso, N., Cabrera, A., Rojas, L. and Rosthoj, S. 2016. Evaluación productiva del forraje verde hidropónico de maíz, avena y trigo. *Compendio de Ciencias Veterinaria*, 6, pp. 7-10. <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.01.7-10>
- Alexandre, G., Fanchone, A., Ozier-Lafontaine, H. and Diman, J.-L. 2014. Livestock farming systems and agroecology in the tropics. In: Springer (ed.) *Sustainable Agriculture Reviews 14: Agroecology Global Change*. New York: Springer Cham. pp.511.
- Ali, S., Zhao, Z., Zhen, G., Kang, J.Z. and Yi, P.Z. 2019. Reproductive problems in small ruminants (sheep and goats): a substantial economic loss in the world. *Large Animal Review*, 25, pp. 215-223. <https://www.largeanimalreview.com/index.php/lar/article/view/63>
- Allen, V.G. and Segarra, E. 2001. Anti-quality components in forage: overview, significance, and economic impact. *Rangeland Ecology*, 54, pp. 409-412. <http://dx.doi.org/10.2307/4003111>
- Altieri, M.A. and Nicholls, C.I. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8, pp. 7-20. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>
- Anusha, V., Anitha, A., Rao, S.J., Rao, E.R. and Metta, M. 2017. Relationships among body condition score, body weights and measurements of Nellore (Brown) sheep. *Indian Journal of Small Ruminants*, 23, pp. 159-162. <https://doi.org/10.5958/0973-9718.2017.00053.8>
- Arif, M., Khalaf, Q.A., Ur Rehman, A., Hussain, S.M., Almohmadi, N.H., Al-Baqami, N.M., Abd El-Hack, M.E., Kamal, M., Tharwat, M. and Swelum, A.A. 2023. Effects of feeding maize hydroponic fodder on growth performance, nitrogen balance, nutrient digestibility, hematology, and blood metabolites of water buffalo calves. *Open Veterinary Journal*, 13, pp. 1607-1613. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2023.v13.i12.10>

- Aubry, J.M., Finot, L., Wiart, S., Yart, L., Siroux, E., Chorho, M., Lassalas, J. and Dessauge, F. 2012. Effects of high feeding level on caprine mammary gland development and milk yield potential. *Journal of Animal Science*, 95(suppl. 2).
- Barbieri, P., Macdonald, G.K., Bernard De Raymond, A. and Nesme, T. 2022. Food system resilience to phosphorus shortages on a telecoupled planet. *Nature Sustainability*, 5, pp. 114-122. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00816-1>
- Baumont, R., Prache, S., Meuret, M. and Morand-Fehr, P. 2000. How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants: a review. *Livestock Production Science*, 64, pp. 15-28. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00172-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00172-X)
- Bidoglio, G.A., Schwarzmüller, F. and Kastner, T. 2024. A global multi-indicator assessment of the environmental impact of livestock products. *Global Environmental Change*, 87, pp. 102853. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102853>
- Birgel, D.B., Muller, A.F., Fantinato Neto, P., Benesi, F.J. and Birgel Junior, E.H. 2014. Avaliação do quadro eritrocitário e repercussão do estado anêmico no leucograma de caprinos com verminose gastrointestinal. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 34, pp. 199-204. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2014000300001>
- Birgi, J.A., Gargaglione, V. and 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, pp. 316-323. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142018000300009&script=sci_arttext
- Boğa, M., Kılıç, H.N., Bulut, M. and Çanga, D. 2023. Use of Some Forage Plants Produced by Hydroponic System in Ruminant Animal Nutrition. *Hayvan Bilimi ve Ürünleri Dergisi*, 6, pp. 103-113. <https://doi.org/10.51970/jasp.1242075>
- Bonaudo, T., Bendahan, A.B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D. and Tichit, M. 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. *European Journal of Agronomy*, 57, pp. 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010>
- Bongaarts, J. 2020. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division World Family Planning 2020: Highlights, United Nations Publications. *Population and Development Review*, 46, pp. 857. <https://doi.org/10.1111/padr.12377>
- Bonilla-Cedrez, C., Steward, P., Rosenstock, T.S., Thornton, P., Arango, J., Kropff, M. and Ramirez-Villegas, J. 2023. Priority areas for investment in more sustainable and climate-resilient livestock systems. *Nature Sustainability*, 6, pp. 1279-1286. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01161-1>
- Borja, T.C. and Perlará, R.M. 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, pp. 127-134. <https://doi.org/10.51641/bioetnia.v6i2.76>
- Brito, M.I.M., Rojero, R.D.M., Hernández, G.T., Lagunas, A.a.M. and Sánchez, J.G. 2008. Evaluación de características productivas en cabritos Boer× local, Nubia× local y locales en el trópico seco de Guerrero, México. *Veterinaria México*, 39, pp. 323-333. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922008000300006
- Caldeira, R., Belo, A., Santos, C., Vazques, M. and Portugal, A. 2007. The effect of body condition score on blood metabolites and hormonal profiles in ewes. *Small Ruminant Research*, 68, pp. 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.08.027>
- Ceriac, S., Jayles, C., Arquet, R., Feuillet, D., Felicite, Y., Archimède, H. and Bambou, J.-C. 2017. The nutritional status affects the complete blood count of goats experimentally infected with *Haemonchus contortus*. *BMC Veterinary Research*, 13, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1248-4>
- Chacón-Hernández, P. and Boschini-Figueroa, C. 2016. Crecimiento del ganado caprino en una finca del Valle Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 27, pp. 159-165. <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21895>

- Chavan, J., Kadam, S. and Beuchat, L.R. 1989. Nutritional improvement of cereals by sprouting. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 28, pp. 401-437. <https://doi.org/10.1080/10408398909527508>
- Chavarría-Aguilar, L., Bautista-Díaz, E., Meza-Villalvazo, V., Piñero-Vázquez, A., Ku-Vera, J., Chaparro, A.L. and Chay-Canul, A.J. 2015. *Índice de masa corporal y su relación con las reservas corporales de grasa en borregos pelibuey*. X Seminario Internacional de Producción de ovinos en el trópico. Villahermosa, Tabasco, México. 23-26 de noviembre de 2025. pp. 125-128
- Chung, T., Nwokolo, E. and Sim, J. 1989. Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 39, pp. 267-278. <https://doi.org/10.1007/BF01091937>
- Curtis, G., Mcgregor Argo, C., Jones, D. and Grove-White, D. 2018. The impact of early life nutrition and housing on growth and reproduction in dairy cattle. *PloS ONE*, 13, pp. e0191687. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191687>
- Dumont, B., Groot, J.C. and Tichit, M. 2018. Make ruminants green again—how can sustainable intensification and agroecology converge for a better future? *Animal*, 12, pp. s210-s219. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001350>
- Escobar-Álvarez, J.L., Ramírez-Reynoso, O., Saguilán, P.C., Gutiérrez-Dorado, R., De Los Ángeles Maldonado-Peralta, M. and Valenzuela-Lagarda, J.L. 2021. Viabilidad y germinación en semillas de maíz criollo del estado de Guerrero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8, pp. <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2963>
- Farghaly, M.M., Abdullah, M.A., Youssef, I.M., Abdel-Rahim, I.R. and Abouelezz, K. 2019. Effect of feeding hydroponic barley sprouts to sheep on feed intake, nutrient digestibility, nitrogen retention, rumen fermentation and ruminal enzymes activity. *Livestock Science*, 228, pp. 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.07.022>
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H., Tabatabayee, S. and Asghari-Tabrizi, M. 2012. Productivity and nutritive value of barley green fodder yield in hydroponic system. *World Applied Sciences Journal*, 16, pp. 531-539. [http://www.idosi.org/wasj/wasj16\(4\)12/9.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj16(4)12/9.pdf)
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H. and Tabatatbaei, S. 2021. Effect of replacing dietary corn silage with hydroponic barley green fodder on Holstein dairy cows performance. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 11, pp. 47-57. https://journals.iau.ir/article_680308.html
- Finney, P. 1983. Effect of germination on cereal and legume nutrient changes and food or feed value: A comprehensive review. In: Springer (ed.) *Mobilization of reserves in germination*. Recent Advances in Phytochemistry, Vol. 17. Boston:Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1167-6_12
- Freitas-De-Melo, A., Ungerfeld, R., Orihuela, A., Hötzel, M.J. and Pérez-Clariget, R. 2018. Restricción alimenticia durante la gestación y vínculo madre-cría en ovinos: una revisión. *Veterinaria México*, 54, pp. 27-36. <https://doi.org/10.29155/vet.54.210.5>
- Gabrieli, R. and Malkinson, D. 2024. Grazing Beef Cattle Vegetation Preferences and Their Effects on Fitness. *Available at SSRN*, 388, pp. 109650. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4808552>
- Gómez-Vázquez, H.G., Rosales-Nieto, C.A., Urrutia-Morales, J., Mellado, M., Meza-Herrera, C.A., Vázquez-García, J.M., Hernández-Arteaga, L.E., Negrete-Sánchez, L.O., Loredó-Osti, C. and Rivas-Jacobo, M.A. 2022. Effect of replacing sorghum stubble with *Tillandsia recurvata* (L.) on liveweight change, blood metabolites, and hematic biometry of goats. *Biology*, 11, pp. 517. <https://doi.org/10.3390/biology11040517>
- Girma, F. and Gebremariam, B. 2018. Review on hydroponic feed value to livestock production. *Journal of Scientific Innovative Research*, 7, pp. 106-109. <https://doi.org/10.31254/jsir>
- Gomiero, T. 2019. Soil and crop management to save food and enhance food security. In: C.M. Galanakis (ed.) *Saving food*. Academic press. pp.33-87. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00002-X>
- Guillen-De Lacruz, P., Velázquez-Morales, R., De La Cruz-Lázaro, E., Márquez-Quiroz, C. and Osorio-Osorio, R. 2018. Germinación y vigor

- de semillas de poblaciones de maíz con diferente proporción de endospermo vítreo. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 34, pp. 108-117. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000304>
- Härter, C., Ellis, J., France, J., Resende, K. and Teixeira, I. 2016. Net energy and protein requirements for pregnancy differ between goats and sheep. *Journal of Animal Science*, 94, pp. 2460-2470. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9673>
- Herrera, J.P.N. and Guerrero, E.M.J.R. 2022. Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento nutricional para ovinos del piedemonte amazónico. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13, pp. 253-266. <https://doi.org/10.22490/21456453.4535>
- Huang, Y., Li, J., Qi, Y. and Shi, V. 2021. Predicting the impacts of the COVID-19 pandemic on food supply chains and their sustainability: A simulation study. *Discrete Dynamics in Nature Society*, 2021, pp. 9. <https://doi.org/10.1155/2021/7109432>
- Jemimah, E., Gnanaraj, P., Muthuramalingam, T., Devi, T. and Vennila, C. 2018. Nutritive value of hydroponic yellow maize fodder and conventional green fodders-a comparison. *International Journal of Agricultural sciences Veterinary Medicine*, 6, pp. 98-101.
- Johnsen, J.F., Zipp, K.A., Kälber, T., De Passillé, A.M., Knierim, U., Barth, K. and Mejdell, C.M. 2016. Is rearing calves with the dam a feasible option for dairy farms?—Current and future research. *Applied Animal Behaviour Science*, 181, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.011>
- Khanal, P. 2024. Use of land-based and aquatic alternative feed resources to establish a circular economy within livestock production. *Journal of Agriculture Food Research*, 16, pp. 101087. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101087>
- Khiaosa-Ard, R. and Zebeli, Q. 2018. Diet-induced inflammation: From gut to metabolic organs and the consequences for the health and longevity of ruminants. *Research in Veterinary Science*, 120, pp. 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.08.005>
- Kırkpınar, F. and Açıkgöz, Z. 2018. Feeding. *Animal Husbandry and Nutrition*. IntechOpen.
- Kurade, N., Sajjanar, B., Nirmale, A., Pawar, S. and Sampath, K. 2017. Nutritional Management: Key to Sustain Livestock in Drought-Prone Areas. In: Springer (ed.) *Abiotic Stress Management for Resilient Agriculture*. Singapore:Springer. pp. 431-441. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5744-1_20
- Laborde, D., Martin, W., Swinnen, J. and Vos, R. 2020. COVID-19 risks to global food security. *Journal Science*, 369, pp. 500-502. <https://doi.org/10.1126/ciencia.abc4765>
- Maji, C., Biswas, S., Kaur, J., 2023. Nutritional deficiency diseases in goats. In: Tanmoy, R (ed.), *Principles of goat disease and prevention*. John Wiley & Sons inc. <http://doi.org/10.1002/9781119896142>
- Makkar, H.P. 2016. Animal nutrition in a 360-degree view and a framework for future R&D work: towards sustainable livestock production. *Animal Production Science*, 56, pp. 1561-1568. <https://doi.org/10.1071/AN15265>
- Martínez-Grimaldo, R.E., Quiroz-Rocha, G. and Domínguez, Y. 2018. Determinación de límites de referencia de analitos hematológicos en cabras lecheras adultas en el Altiplano Mexicano. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 65, pp. 121-129. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v65n2.75628>
- Mcgregor, B. 2016. The effects of nutrition and parity on the development and productivity of Angora goats: 1. Manipulation of mid pregnancy nutrition on energy intake and maintenance requirement, kid birth weight, kid survival, doe live weight and mohair production. *Small Ruminant Research*, 145, pp. 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.10.027>
- Mcguire, S. 2013. WHO, World Food Programme, and International Fund for Agricultural Development. 2012. The State of Food Insecurity in the World 2012. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition. Rome, FAO. *Advances in Nutrition*, 4, pp. 126-127. <https://doi.org/10.3945/an.112.003343>

- Mellado, M., Villarreal, J.A., Medina-Morales, M.A., Arévalo, J.R., García, J.E. and Meza-Herrera, C. 2017. Seasonal diet composition and forage selectivity of Boer goats in a semi-arid gypsophilous grassland. *African Journal of Range Forage Science*, 34, pp. 191-199. <https://doi.org/10.2989/10220119.2017.1400466>
- Mendoza-Barrientos, L.C., Quiroz-Valenzuela, R.J. and Aguilar-Janto, L.E. 2024. La inseguridad alimentaria en América Latina en la post pandemia: Revisión sistemática. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 9, pp. 298-316. <https://doi.org/10.35381/r.k.v9i17.3222>
- Murniati, T., Idrus, M., Rahardja, D.P., Toleng, A. and Ako, A. 2015. Effect of maternal nutrition at different stages of pregnancy in goats (Etawa Cross and Kacang) on performance of does and goat kids. *International Journal of Science and Research*, 4, pp. 210-215. <https://www.ijsr.net/archive/v4i9/SUB157974.pdf>
- Naik, P., Dhuri, R., Karunakaran, M., Swain, B. and Singh, N. 2014. Effect of feeding hydroponics maize fodder on digestibility of nutrients and milk production in lactating cows. *Indian Journal of Animal Sciences*, 84, pp. 880-883.
- Naik, P., Dhuri, R., Swain, B. and Singh, N. 2012. Nutrient changes with the growth of hydroponics fodder maize. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 29, pp. 161-163. <https://doi.org/10.56093/ijans.v8i4.43275>
- Naik, P., Karunakaran, M., Swain, B., Chakurkar, E. and Singh, N. 2016. Voluntary intake and digestibility of nutrients in heifers fed hydroponics maize (*Zea mays* L.) fodder. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 33, pp. 233-235. <https://doi.org/10.5958/2231-6744.2016.00041.4>
- Naik, P., Swain, B. and Singh, N. 2015. Production and utilisation of hydroponics fodder. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 32, pp. 1-9.
- Napso, T., Yong, H.E., Lopez-Tello, J. and Sferruzzi-Perri, A.N. 2018. The role of placental hormones in mediating maternal adaptations to support pregnancy and lactation. *Frontiers in physiology*, 9, pp. 1-39. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01091>
- Oliveira, T., Rodrigues, M. and Fernandes, A. 2021. Energy requirements and efficiency of Alpine goats in early lactation. *Animal*, 15, pp. 8. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100140>
- Onu. 2019. World population prospects 2019: Highlights United Nations Department for Economic and Social Affairs. New York:United Nations. https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2019_Highlights.pdf
- Pecka-Kielb, E., Zachwieja, A., Wojtas, E. and Zawadzki, W. 2018. Influence of nutrition on the quality of colostrum and milk of ruminants. *Review - Pregledni Rad*, 68, pp. 169-181. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2018.0302>
- Pérez, L.S., Rivera, J.R.E., Rangel, P.P., Reyna, V.D.P.Á., Velázquez, J.a.M., Martínez, J.R.V. and Ortiz, M.M.J.I. 2012. Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. *Interciencia*, 37, pp. 215-220. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/215-c-ESPARZA-6.pdf>
- Power, G., Pluske, J., Campbell, R., Cranwell, P., Kerton, D., King, R. and Dunshea, F. Effect of sex, weight and age on post-weaning growth of pigs. Proceedings of the Nutrition Society of Australia, V20, Twentieth Annual Scientific Meeting, 1996. Nutrition Society of Australia.
- Puech, T. and Stark, F. 2023. Diversification of an integrated crop-livestock system: Agroecological and food production assessment at farm scale. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 344, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108300>
- Ramos-Martinez, J., Salinas-González, H., Medina-Elizondo, M., Figueroa-Viramontes, U. and Maldonado-Jáquez, J. 2021. La organización y agrupación como eje toral para el diseño de esquemas de atención a caprinocultores en el norte de México: Estudio de caso. *Abanico Veterinario*, 10, pp. 1-19. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.13>
- Romero, L.M. and Reed, J.M. 2005. Collecting baseline corticosterone samples in the field: is

- under 3 min good enough? *Comparative Biochemistry Physiology Part A: Molecular Integrative Physiology*, 140, pp. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2004.11.004>
- Sabando, K.D.C. and Avellan, T.E.T. 2023. Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) con aplicación de microorganismos eficientes. *Revista Criterios*, 30, pp. 43-50. <https://doi.org/10.31948/rev.criterios/30.2-art3>
- Sheoran, H., Kakar, R. and Kumar, N. 2019. Impact of organic and conventional farming practices on soil quality: A global review. *Applied Ecology Environmental Research*, 17, pp. 951. https://doi.org/10.15666/aeer/1701_951968
- Shewry, P.R., Napier, J.A. and Tatham, A.S. 1995. Seed storage proteins: structures and biosynthesis. *The Plant Cell*, 7, pp. 945. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.945>
- Sijpestijn, G.F., Wezel, A. and Chriki, S. 2022. Can agroecology help in meeting our 2050 protein requirements? *Livestock Science*, 256, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104822>
- Soto, M., Juárez Reyes, A.S., Rivera Ahumada, J.A., Guerrero Cervantes, M., Ramírez Lozano, R.G. and Barragán, H. 2012. Biomass production and nutritional value of hydroponic green forage of wheat and oat. *Interciencia*, 37, pp. 906-913. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/906-c-BERNAL-8.pdf>
- Tedeschi, L.O., Muir, J.P., Naumann, H.D., Norris, A.B., Ramírez-Restrepo, C.A. and Mertens-Talcott, S.U. 2021. Nutritional aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, pp. 1-24. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.628445>
- Thadchanamoorthy, S. and Pramalal, V. 2012. Evaluation of hydroponically grown maize as a feed source for rabbits. In: Science, DOA (ed.) *The Twenty Second Annual Students Research Sessions*. November 30.
- Thénard, V., Quénon, J., Arsenos, G., Bailo, G., Baptista, T., Byrne, T., De Barbieri, I., Bruni, G., Freire, F. and Theodoridis, A. 2024. Identifying selection strategies based on the practices and preferences of small ruminant farmers to improve the sustainability of their breeding systems. *Animal*, 18, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101208>
- Uvidia, H., Shiguango, M. and Reyes, F. 2023. Bibliographic review on hydroponic forage cultivation for dairy cattle feeding in Ecuador. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 10, pp. 415-423. <https://doi.org/10.17762/sfs.v10i3S.45>
- Van Kernebeek, H.R., Oosting, S.J., Van Ittersum, M.K., Bikker, P. and De Boer, I.J. 2016. Saving land to feed a growing population: consequences for consumption of crop and livestock products. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, pp. 677-687. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0923-6>
- Vernon, R.G. and Pond, C.M. 1997. Adaptations of maternal adipose tissue to lactation. *Journal of mammary gland biology neoplasia*, 2, pp. 231-241. <https://doi.org/10.1023/A:1026380220364>
- Villaquiran, M., Gipson, T., Merkel, R., Goetsch, A. and Sahl, T. 2004. Body Condition Scores in Goats. American institute for goat research. USDA/FSIS/OPHS project# FSIS-C-10.
- Wu, Z., Du, C., Hou, M., Zhao, L., Ma, L., Sinclair, L. and Bu, D. 2024. Hydroponic barley supplementation fed with high-protein diets improves the production performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107, pp. 7744-7755. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24178>
- Yan, L., Zhang, B. and Shen, Z. 2014. Dietary modulation of the expression of genes involved in short-chain fatty acid absorption in the rumen epithelium is related to short-chain fatty acid concentration and pH in the rumen of goats. *Journal of Dairy Science*, 97, pp. 5668-5675. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7807>
- Zabel, F., Delzeit, R., Schneider, J.M., Seppelt, R., Mauser, W. and Václavík, T. 2019. Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. *Nature Communications*, 10, pp. 2844. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10775-z>
- Zahm, F., Ugaglia, A.A., Barbier, J.-M., Carayon, D., Del'homme, B., Gafsi, M., Gasselin, P.,

- Gestin, C., Girard, S. and Guichard, L. 2024. Assessing farm sustainability: the IDEA4 method, a conceptual framework combining dimensions and properties of sustainability. *Cahiers Agricultures*, 33, pp. 11. <https://doi.org/10.1051/cagri/2024001>
- Zamuner, F., Leury, B. and Digiacomo, K. 2023. Feeding strategies for rearing replacement dairy goats—from birth to kidding. *Animal*, 17, pp. 1-12.
- Zeferino-Hernández, P., Luna, D.V., Lara-Rodríguez, D.A., Tadeo-Bolaños, P., Velázquez-Silvestre, M.G. and Lozano, A.R. 2021. Potential of native maize in the production of hydroponic green fodder under tropical conditions. *Tropical Subtropical Agroecosystems*, 24, pp.64. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3659>
- <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100853>