



Associations of anthropometric markers of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) with serum metabolites and minerals

Asociaciones de marcadores antropométricos de venadas de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) con metabolitos y minerales séricos

Francisco A. Rodríguez-Huerta; José Eduardo García-Martínez*; Oscar A. García; Viridiana Contreras; Jesús Mellado; Miguel Mellado

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro, núm. 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, C. P. 25315, México.

*Corresponding author: edugarmartz@gmail.com; egarcia@uaaan.edu.mx

Abstract

Variations in body mass can influence the balance of trace elements and macrominerals in wildlife species. The objective of this study was to assess the associations between selected anthropometric traits (withers height, nose-to-tail length, tail length, ear length, foreleg length, and thoracic circumference), as well as age and body weight, and specific serum metabolites and mineral concentrations in gestating free-ranging female white-tailed deer (*Odocoileus virginianus texanus*) (n = 28) from northern Mexico. Principal components analysis identified differences in serum glucose concentrations associated with body dimensions. Significant negative correlations ($p < 0.01$) were observed between withers height and serum glucose ($r = -0.54$), and between nose-to-tail length and serum cholesterol ($r = -0.46$). In contrast, withers height ($r = 0.44$) and nose-to-tail length ($r = 0.38$) were positively correlated ($p < 0.05$) with serum iron concentrations. Additionally, tail length and ear length were positively correlated with serum phosphorus ($r = 0.42$ and 0.43 , respectively; $p < 0.05$), while tail length showed a positive correlation with serum copper ($r = 0.49$; $p < 0.01$). Certain body measurements indicative of overall body size were negatively associated with serum metabolites related to nutritional status. Overall, smaller deer showed a more favorable blood metabolic profile than larger deer. These findings suggest that blood metabolites indicative of nutritional status may serve as useful biomarkers for characterizing body dimensions in white-tailed deer.

Keywords: body size, cholesterol, cooper, glucose, phosphorus.

Resumen

Las variaciones en la masa corporal pueden alterar el equilibrio de oligoelementos y macrominerales en la fauna silvestre. El objetivo de este estudio fue evaluar la asociación entre diferentes rasgos antropométricos (altura a la cruz, longitud de la nariz a la cola, largo de la cola, largo de las orejas, largo de las patas delanteras y circunferencia torácica), así como la edad y el peso corporal, con algunos metabolitos y minerales séricos en venadas de cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus*) gestantes en agostadero (n = 28) en el norte de México. El análisis de componentes principales reveló diferencias en la concentración de glucosa asociadas con las dimensiones corporales. Se observaron correlaciones negativas significativas ($p < 0.01$) entre la altura a la cruz y la glucosa sérica ($r = -0.54$), así como entre la longitud de la nariz a la cola y el colesterol sérico ($r = -0.46$). En contraste, la altura a la cruz ($r = 0.44$) y la longitud de la nariz a la cola ($r = 0.38$) se correlacionaron positivamente ($p < 0.05$) con las concentraciones séricas de hierro. Asimismo, el largo de la cola y de las orejas se asoció positivamente con el fósforo ($r = 0.42$ y 0.43 , respectivamente; $p < 0.05$), mientras que el largo de la cola se correlacionó positivamente con el cobre ($r = 0.49$; $p < 0.01$). Algunas medidas indicativas del tamaño corporal se asociaron negativamente con metabolitos séricos relacionados con el estado nutricional. En general, las venadas más pequeñas presentaron un perfil metabólico sanguíneo potencialmente más favorable que las venadas de mayor tamaño. Los metabolitos sanguíneos indicativos del estado nutricional pueden ser útiles para describir las dimensiones corporales de las venadas.

Palabras clave: tamaño corporal, colesterol, cobre, glucosa, fósforo.

Please cite this article as follows (APA 7): Rodríguez-Huerta, F. A., García-Martínez, J. E., García, O. A., Contreras, V., Mellado, J. & Mellado, M. (2025). Associations of anthropometric markers of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) with serum metabolites and minerals. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 24, e23002. <https://doi.org/10.5154/r.rchsa.2023.03.002>



Revista Chapingo
Serie Zonas Áridas

Introduction

In arid and semi-arid ecosystems, the availability and quality of forage for wild ungulates are strongly influenced by unpredictable spatial and temporal precipitation patterns. During the dry season, when both forage quality and quantity decline, ungulates with adequate body energy reserves can maintain a balance between their metabolic requirements and available energy (Kohli et al., 2014). Under these conditions, deer diet selection is primarily directed toward compensating for the most limiting nutritional constraints (i.e., energy and protein), within the bounds imposed by environmental heterogeneity (Cain et al., 2017).

Ruminants showed physiological adaptations that enable them to reduce basal metabolic rate and food intake during periods of resource scarcity by relying on somatic reserves to meet basic metabolic demands (Monteith et al., 2013). When forage availability improves, herbivores are able to recover these energy reserves (Monteith et al., 2018). Therefore, energy reserves are essential for meeting metabolic requirements when the energy supplied by forage is insufficient to cover basic needs (Parker et al., 2009).

The assessment of nutritional status using urinary or blood metabolites constitutes a valuable tool for estimating the adequacy of nutrient intake, particularly in ecosystems where food availability fluctuates markedly throughout the year. In this context, integrating metabolic indicators with body size measurements can prove relevant insights into the metabolic status of cervids and support the implementation of nutritional management strategies, such as dietary supplementation, aimed at improving their productive performance (Cabanac et al., 2005; Wang et al., 2024). However, it remains necessary to determine whether blood metabolites in cervids are associated with body size.

Nutritional status is closely linked to reproductive success in cervids, as it influences the probability of conception (Milner et al., 2013; Minami et al., 2012; Tollefson et al., 2010), the birth characteristics of offspring (Lomas & Bender, 2007), and their survival (Bishop et al., 2009; Lomas & Bender, 2007). In addition, cervids require an adequate supply of minerals to maintain their health and well-being. To promote wildlife development, increase trophy potential, or concentrate animals in specific locations, their diets have been supplemented with artificial mineral sources (Peterson et al., 2015). Some measurements used in livestock have been validated as predictors of carcass composition (Drennan et al., 2008; Lambe et al., 2008); however, this approach has been little explored in wild cervids.

Introducción

En los ecosistemas áridos y semiáridos, la disponibilidad y la calidad del forraje para los ungulados silvestres están fuertemente determinadas por patrones de precipitación espacial y temporal impredecibles. Durante la estación seca, cuando la calidad y la cantidad del forraje disminuyen, los ungulados con reservas energéticas corporales adecuadas pueden mantener el equilibrio entre sus requerimientos metabólicos y la energía disponible (Kohli et al., 2014). En este contexto, la selección de la dieta de los ciervos se orienta a compensar las limitaciones nutricionales más apremiantes (es decir, la energía y las proteínas), dentro de las restricciones impuestas por la heterogeneidad ambiental (Cain et al., 2017).

Los rumiantes presentan adaptaciones fisiológicas que les permiten reducir el metabolismo basal y la ingesta de alimento en periodos de escasez mediante el uso de reservas somáticas para satisfacer sus necesidades metabólicas básicas (Monteith et al., 2013). Cuando la disponibilidad de forraje mejora, los herbívoros pueden recuperar dichas reservas de energía (Monteith et al., 2018). Por lo tanto, las reservas de energía son esenciales para satisfacer las necesidades metabólicas cuando la energía aportada por el forraje no cubre las necesidades básicas (Parker et al., 2009).

La evaluación del estado nutricional a partir de metabolitos urinarios o sanguíneos constituye una herramienta valiosa para estimar la adecuación de la ingesta de nutrientes, especialmente en ecosistemas donde la accesibilidad al alimento fluctúa de manera marcada a lo largo del año. En este sentido, la integración de los indicadores metabólicos y el tamaño corporal puede proporcionar información relevante sobre el estado metabólico de los cérvidos y permitir la implementación de estrategias de manejo nutricional, como la suplementación alimenticia, orientadas a mejorar su producción (Cabanac et al., 2005; Wang et al., 2024). No obstante, se necesita evaluar si los metabolitos sanguíneos de los cérvidos están relacionados con su tamaño.

El estado nutricional está estrechamente relacionado con el éxito reproductivo en los cérvidos, ya que influye en la probabilidad de concepción (Milner et al., 2013; Minami et al., 2012; Tollefson et al., 2010), en las características de nacimiento de las crías (Lomas & Bender, 2007) y en su supervivencia (Bishop et al., 2009; Lomas & Bender, 2007). Además, los cérvidos necesitan un suministro adecuado de minerales para mantener su salud y bienestar. Con el fin de favorecer el desarrollo de la fauna silvestre, incrementar el potencial de trofeos o concentrar animales en sitios específicos, se ha suplementado su alimentación con minerales artificiales (Peterson et al., 2015). Asimismo, se han utilizado algunas mediciones

Based on this context, the present study aimed to assess the relationship between a range of anthropometric traits (withers height, nose-to-tail length, tail length, ear length, foreleg length, and chest circumference), together with age and body weight, and selected serum metabolites and minerals concentrations in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus texanus*).

Materials and methods

Study area

The study was conducted in January 2022 at the Wildlife Conservation Management Unit Rancho San Juan (code DGS-CR-EX-3133-COA), located in northeastern Mexico (26° 49' N and 101° 01' W, at an elevation of 620 m a. s. l.). The study area is characterized by semi-arid grassland (microphyll desert scrub), with a mean annual temperature of 21.3 °C and annual precipitation ranging from 300 to 400 mm, with precipitation occurring primarily during high-intensity thunderstorm events between June and October. The ranch covers an area of 2050 ha, is enclosed by a 2.4 m-high deer-proof fence, and includes multiple water sources and five feeding stations.

Deer capute, handling, and blood collection

All experimental procedures were approved by the Institutional Animal Care and Use Committee at the *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro* (protocolo no. 03001-2258) and were conducted in accordance with the guidelines of the Federation of Animal Science Societies (FASS, 2010). The study was conducted under an extractive exploration permit issued by the *Secretaría de Medio Ambiente* of Coahuila (SM-VS-01/0111-19).

The study included 28 white-tailed deer grazing in open areas of the study site. At the beginning of the experiment, the breeding season had just ended; therefore, most individuals were assumed to be in the early weeks of gestation. Deer were captured using projectile darts containing immobilizing drugs. Once sedated, the animals were physically restrained and blindfolded.

Blood samples were collected by jugular venipuncture and placed into sterile vacuum tubes without anticoagulant (Becton Dickinson, Vacutainer®, USA). Samples were kept refrigerated until clot formation and were centrifuged at 1 200 ×g for 10 min within the first hour after collection. The serum was transferred to plastic tubes and stored at -20 °C until analysis. After completing sample collection and measurements, the deer were released back into their grazing areas.

en ganado como predictores válidos de la composición de la canal (Drennan et al., 2008; Lambe et al., 2008); sin embargo, este enfoque ha sido poco explorado en cérvidos silvestres.

Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la asociación entre diferentes rasgos antropométricos (altura a la cruz, longitud de la nariz a la cola, largo de la cola, largo de las orejas, largo de las patas delanteras y circunferencia torácica), así como la edad y el peso corporal, con algunos metabolitos y minerales séricos en venadas de cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus*).

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en enero de 2022 en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre Rancho San Juan (código DGS-CR-EX-3133-COA), ubicada en el noreste de México (26° 49' N y 101° 01' O, a 620 m s. n. m.). El área de estudio presenta pastizales semiáridos (matorral desértico microfilico), temperatura media anual de 21.3 °C y precipitación anual entre 300 y 400 mm, concentrándose principalmente en eventos de tormentas eléctricas de alta intensidad entre junio y octubre. El rancho tiene una superficie de 2050 ha, se encuentra delimitado por una cerca para ciervos de 2.4 m de altura, y cuenta con múltiples abrevaderos y cinco comederos.

Captura, manejo y obtención de muestras sanguíneas

Todos los procedimientos experimentales se aprobaron por el Comité Institucional de Cuidado y Uso de Animales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (protocolo núm. 03001-2258) y se realizaron de acuerdo con las normas de la *Federation of Animal Science Societies* (FASS, 2010). El estudio contó con un permiso de aprovechamiento extractivo emitido por la Secretaría de Medio Ambiente del estado de Coahuila (SM-VS-01/0111-19).

El estudio incluyó 28 venadas de cola blanca, las cuales pastaban en áreas abiertas de la zona de estudio. Al inicio del experimento acababa de terminar la temporada reproductiva, por lo que se asumió que la mayoría se encontraba en las primeras semanas de gestación. La captura de los ciervos se realizó mediante dardos proyectiles con fármacos inmovilizantes. Una vez sedados, los ciervos se inmovilizaron físicamente y se les vendaron los ojos.

Las muestras de sangre se obtuvieron mediante punción de la vena yugular y se almacenaron en tubos estériles al vacío sin anticoagulante (Becton Dickinson, Vacutainer®,

Body measurements and age estimation

Deer were measured in a standing position using a plastic measuring tape and a ruler. Nose-to-tail length was measured up to the base of the tail. Foreleg length was measured from the ground to the point where the leg joins the chest. Thoracic circumference was measured around the chest at the level of the withers. In addition, withers height, tail length, and ear length were recorded.

Age was estimated based on tooth eruption and wear patterns, categorized as one year, one to two years, and three years or older (Severinghaus, 1949). Serum glucose, total protein, cholesterol, urea, and creatinine concentrations were determined using colorimetric methods following protocols supplied by the kit manufacturers. Phosphorus was quantified using the colorimetric method described by Fiske and Subbarow (1925). The remaining minerals were analyzed using standard laboratory techniques.

Statistical analysis

A principal component analysis (PCA) was performed to identify the variables that explain the largest proportion of variability in the data and to explore the relationships between body measurements and serum glucose concentrations. Sampling adequacy was assessed using the Kaiser-Meyer-Olkin test and Bartlett's test of sphericity to confirm the appropriateness of factor analysis. Additionally, Pearson correlation analysis was conducted to evaluate the associations between body measurements and serum metabolites and minerals. To examine the linear relationship between two multidimensional variable sets: U (foreleg length, ear length, tail length, and withers height) and V (serum concentrations of P, Cu, and Fe), canonical correlation analysis was performed to identify the linear combination that maximized the correlation between the two datasets. Differences in serum metabolite and mineral concentrations among age groups were assessed using one-way analysis of variance.

All statistical analyses were conducted using Statgraphics Centurion 19 (Statgraphics Technologies, Inc.), with a significant level of $\alpha = 0.05$.

Results and discussion

The PCA, based on selected body measurements, age, and body weight, showed a partial separation between deer with high and low serum glucose concentrations (Figure 1). Withers height, thoracic circumference, nose-to-tail length, and age were the variables that contributed most to this differentiation. The first two principal components explained 61.5 %

EUA). Las muestras se mantuvieron refrigeradas hasta la coagulación y se centrifugaron a $1\,200 \times g$ por 10 min dentro de la primera hora posterior a la extracción. El suero obtenido se transfirió a viales de plástico y se almacenó a $-20\,^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis. Después de tomar las muestras y realizar las mediciones correspondientes, las venadas se liberaron en los pastizales.

Mediciones corporales y determinación de la edad

Las venadas se midieron en posición de pie con una cinta métrica de plástico y una regla. La longitud de la nariz a la cola se midió a la base de la cola. El largo de las patas delanteras se midió desde la superficie del suelo hasta el punto de unión de la pata con el pecho del animal. La circunferencia torácica se midió alrededor del pecho a la altura de la cruz. Adicionalmente, se midieron la altura a la cruz, el largo de la cola y el largo de las orejas.

La edad de las venadas se estimó con base en la erupción dentaria y en los patrones de desgaste dental: un año, de uno a dos años y tres años o más (Severinghaus, 1949). Las concentraciones séricas de glucosa, proteína total, colesterol, urea y creatinina se determinaron mediante técnicas colorimétricas de acuerdo con los protocolos proporcionados por los fabricantes del kit. El fósforo se cuantificó mediante el método colorimétrico descrito por Fiske y Subbarow (1925). El resto de los minerales se determinó mediante técnicas estándar de laboratorio.

Análisis de datos

Se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) para identificar las variables que explicaran la mayor proporción de la variabilidad en los datos y explorar las relaciones entre las mediciones corporales y las concentraciones de glucosa sérica. La adecuación del muestreo se evaluó mediante la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin y la prueba de esfericidad de Bartlett, con el fin de verificar la pertinencia del análisis factorial. Asimismo, se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson para evaluar la asociación entre las medidas corporales y los metabolitos y minerales séricos. Para examinar la relación lineal entre dos variables multidimensionales: U (largo de las patas delanteras, largo de las orejas, largo de la cola y altura a la cruz) y V (concentraciones séricas de P, Cu y Fe), se realizó un análisis de correlación canónica. Lo anterior con la finalidad de identificar la combinación lineal que maximizara la correlación entre ambos conjuntos de datos. Las diferencias en las concentraciones séricas de minerales y metabolitos entre los grupos etarios se examinaron mediante un análisis de varianza de una vía.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statgraphics Centurion 19 (Statgraphics Technologies, Inc.), con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

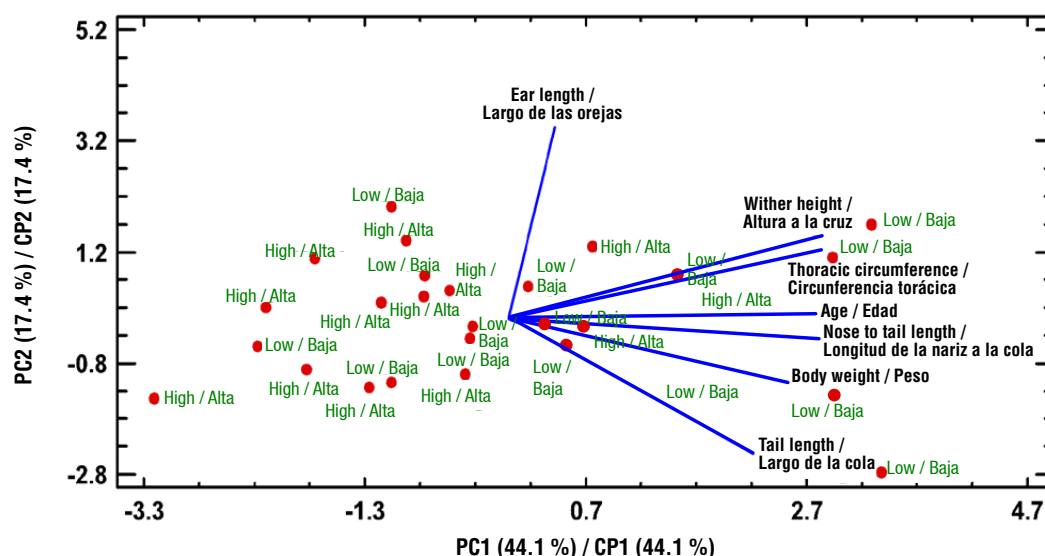


Figure 1. Principal component analysis of serum metabolites and minerals, body measurements, age, and body weight in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). The principal components (PC) with the highest eigenvalues are shown on the X and Y axes. The contribution of each input variable to these two dimensions is presented. Individuals were classified into two groups based on serum glucose concentrations: high and low.

Figura 1. Análisis de componentes principales de metabolitos y minerales séricos, medidas corporales, edad y peso de venadas de cola blanca (*Odocoileus virginianus*). Los componentes principales (CP) con los valores propios más altos se muestran en el eje X y el eje Y. Se presenta la carga de cada variable de entrada relacionada con estas dos dimensiones. Los individuos se clasificaron según su concentración sérica de glucosa en dos grupos: alta y baja.

of the total variation in the data. Overall, serum glucose concentrations tended to be lower in deer with greater withers height, ear length, tail length, thoracic circumference, nose-to-tail length, body weight, and age.

Table 1 shows the effect of age on the concentration of selected macrominerals, trace elements, and metabolites. Age had no significant effect ($p > 0.05$) on any of the minerals or metabolites evaluated. These results contrast with those reported by Greenwood et al. (2023), who documented an effect of age on Se and Zn concentrations. Additionally, blood K levels have been reported to correlate negatively with age in white-tailed deer (Stringer et al., 2011). Nonetheless, the serum glucose concentrations observed in the present study ($46.0 - 74.3 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$) were within the expected range for this species (Burdic et al., 2012), although other studies have reported higher values ($\geq 120 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$) in wild white-tailed deer (Boesch et al., 2011; Moratz et al., 2019).

The strongest association between body measurements and serum metabolites was observed between withers height and serum glucose (Table 2), which showed a highly significant negative correlation ($p < 0.01$). This finding is noteworthy, as other studies conducted in different sheep breeds have not reported an inverse relationship between body weight and blood glucose

Resultados y discusión

EL ACP, basado en algunas medidas corporales, la edad y el peso corporal, mostró una separación parcial entre las venadas con concentraciones séricas altas y bajas de glucosa (Figura 1). La altura a la cruz, la circunferencia torácica, la longitud de la nariz a la cola y la edad fueron las variables que contribuyeron en mayor medida a dicha diferenciación. Los dos primeros componentes principales explicaron el 61.5 % de la variación total de los datos. En general, la concentración de glucosa sérica tendió a ser menor en las venadas con mayor altura a la cruz, largo de las orejas, largo de la cola, circunferencia torácica, longitud de la nariz a la cola, peso y edad.

El Cuadro 1 muestra el efecto de la edad de las venadas sobre las concentraciones de algunos macrominerales, oligoelementos y metabolitos. La edad no tuvo un efecto significativo ($p > 0.05$) sobre ninguno de los minerales o metabolitos evaluados. Estos resultados contrastan con lo reportado por Greenwood et al. (2023), quienes documentaron un efecto de la edad sobre las concentraciones de Se y Zn. Además, los niveles de K en sangre se han correlacionado negativamente con la edad en los venados de cola blanca (Stringer et al., 2011). No obstante, las concentraciones de glucosa sérica observadas en el presente estudio ($46.0 - 74.3 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$) se encontraron dentro del rango esperado para esta especie (Burdic et al., 2012), aunque otros

Table 1. Serum mineral and metabolite concentration in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) by age. Cuadro 1. Concentración de minerales y metabolitos séricos en venadas de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en función de la edad.

Variables	1 year (n = 3) / 1 año (n = 3)	1-2 years old (n = 18) / 1-2 años de edad (n = 18)	≥ 3-years old (n = 7) / ≥ 3 años de edad (n = 7)
Minerals / Minerales			
Calcium (mg·dL ⁻¹) / Calcio (mg·dL ⁻¹)	8.4 ± 2.7	9.0 ± 1.5	8.5 ± 1.4
Phosphorous (mg·dL ⁻¹) / Fósforo (mg·dL ⁻¹)	7.2 ± 2.6	6.5 ± 1.8	8.1 ± 2.1
Potassium (mEq·L ⁻¹) / Potasio (mEq·L ⁻¹)	4.6 ± 0.2	5.4 ± 1.3	5.8 ± 2.1
Magnesium (mg·dL ⁻¹) / Magnesio (mg·dL ⁻¹)	2.2 ± 1.5	2.2 ± 0.4	2.0 ± 01
Sodium (mEq·L ⁻¹) / Sodio (mEq·L ⁻¹)	101 ± 58	140 ± 78	128 ± 81
Copper (mg·dL ⁻¹) / Cobre (mg·dL ⁻¹)	0.46 ± 0.1	0.6 ± 0.2	0.76 ± 0.2
Zinc (mg·dL ⁻¹) / Zinc (mg·dL ⁻¹)	1.0 ± 0.3	2.6 ± 1.1	2.3 ± 1.4
Iron (mg·dL ⁻¹) / Hierro (mg·dL ⁻¹)	127 ± 49	104 ± 38	118 ± 37
Metabolites / Metabolitos			
Glucose (mg·dL ⁻¹) / Glucosa (mg·dL ⁻¹)	60.7 ± 5.9	55.4 ± 6.6	52.6 ± 3.1
Urea (mg·dL ⁻¹)	20.6 ± 7.1	15.3 ± 6.0	16.5 ± 7.7
Cholesterol (mg·dL ⁻¹) / Colesterol (mg·dL ⁻¹)	87.0 ± 15.3	89.8 ± 17.4	85.0 ± 17.7
Total protein (mg·dL ⁻¹) / Proteína total (mg·dL ⁻¹)	6.3 ± 0.8	7.0 ± 1.6	7.3 ± 0.9
Creatinine (mg·dL ⁻¹) / Creatinina (mg·dL ⁻¹)	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.2	1.2 ± 0.2

Values represent means ± standard deviation.
Los valores representan las medias ± desviación estándar.

Table 2. Significant Pearson correlations between body measurements and selected serum metabolites and minerals in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). Cuadro 2. Coeficientes de correlación de Pearson significativos entre las medidas corporales y algunos metabolitos séricos y minerales en venadas de cola blanca (*Odocoileus virginianus*).

Pair of variables / Par de variables	Correlation / Correlación	p-value / Valor de p
Wither height – iron / Altura a la cruz – hierro	0.44	0.019
Wither height – glucose / Altura a la cruz – glucosa	-0.54	0.003
Nose-to-tail length – iron / Longitud de la nariz a la cola – hierro	0.38	0.043
Tail length – copper / Largo de la cola – cobre	0.49	0.007
Tail length – phosphorus / Largo de la cola – fósforo	0.42	0.013
Ear length – phosphorus / Largo de las orejas – fósforo	0.43	0.020
Nose-to-tail length – cholesterol / Longitud de la nariz a la cola – colesterol	-0.46	0.014

levels (Ashour et al., 2020). Serum glucose concentration is commonly used as an indicator of energy status in cervids (Van Saun & Wagner, 2025). The higher glucose concentration observed in smaller deer may be related to greater ruminal propionate production, possibly resulting from improved diet selection. However, the high inter-individual variability in blood glucosa suggest the influence of multiple physiological and environmental factors. In addition, insulin responsiveness to a glucose load increases with age in sheep (Jaquierey et al., 2013); therefore, greater age and body size may be associated with lower blood glucose concentrations as a result of increased insulin secretion (Ruhe et al., 1992). Nonetheless, the use of

estudios han registrado valores más altos (≥ 120 mg·dL⁻¹) en ciervos de cola blanca silvestres (Boesch et al., 2011; Moratz et al., 2019). La asociación más fuerte entre las medidas corporales y los metabolitos séricos se observó entre la altura a la cruz y la glucosa sérica (Cuadro 2), al presentar una correlación negativa altamente significativa ($p < 0.01$). Este resultado resulta llamativo, ya que otros estudios realizados en diversas razas ovinas no han documentado una relación inversa entre el peso corporal y los niveles de glucosa en sangre (Ashour et al., 2020). La concentración de la glucosa sérica se emplea comúnmente como indicador del estado energético de los cérvidos (Van Saun & Wagner,

blood glucose as an indicator of nutritional status in animals subjected to chemical immobilization may not accurately reflect the true metabolic condition of wild individuals (Arnemo & Ranheim, 1999).

Another important finding was the moderate negative association between nose-to-tail length and cholesterol concentration. Both glucose and cholesterol concentrations decrease when energy demands are not met by nutrient intake; therefore, these metabolites are closely linked to energy balance in ruminants (Kida, 2003). The lower cholesterol concentration observed in larger deer reflects an energy deficit, as cholesterol plays a role in the transport of fatty acids from adipose tissue during a period of energy restriction (Carbone et al., 2012; Tadesse et al., 2021). These results suggest that larger individuals may face greater challenges in meeting their energy requirements, leading to increased mobility and eventual depletion of body reserves.

The lower serum glucose concentration observed in taller deer may also be attributed to energy restriction, suggesting that the available nutritional plane was insufficient to meet metabolic demands during the early stages of pregnancy. It is worth noting that the study was conducted during winter, a period characterized by forage scarcity in the study area; therefore, larger deer apparently did not obtain sufficient nutrients to sustain both physiological processes and normal physical activity.

2025). La mayor concentración de glucosa observada en las venadas de menor tamaño podría estar relacionada con una mayor producción ruminal de propionato, posiblemente derivada de una mejor selección de la dieta. Sin embargo, la elevada variabilidad de glucosa en sangre entre individuos sugiere la influencia de múltiples factores fisiológicos y ambientales. Además, la respuesta de la insulina a una carga de glucosa aumenta con la edad en las ovejas (Jaquier et al., 2013); por lo tanto, a mayor edad y tamaño, menor es la concentración de glucosa en sangre como resultado de una mayor secreción de insulina (Ruhe et al., 1992). No obstante, el uso de la glucosa en sangre como indicador del estado nutricional en animales sometidos a inmovilización química puede no reflejar con precisión la condición metabólica real de individuos silvestres (Arnemo & Ranheim, 1999).

Otro hallazgo relevante fue la asociación negativa moderada entre la longitud de la nariz a la cola y el colesterol. Tanto la concentración de glucosa como el colesterol disminuyen cuando las demandas energéticas no se cubren con la ingesta de nutrientes, por lo que ambos metabolitos están estrechamente vinculados con el balance energético en rumiantes (Kida, 2003). La menor concentración de colesterol observada en las venadas de mayor tamaño refleja un déficit energético, ya que el colesterol interviene en el transporte de ácidos grasos desde el tejido adiposo durante periodos de restricción energética (Carbone et al., 2012; Tadesse et al., 2021). Estos resultados sugieren

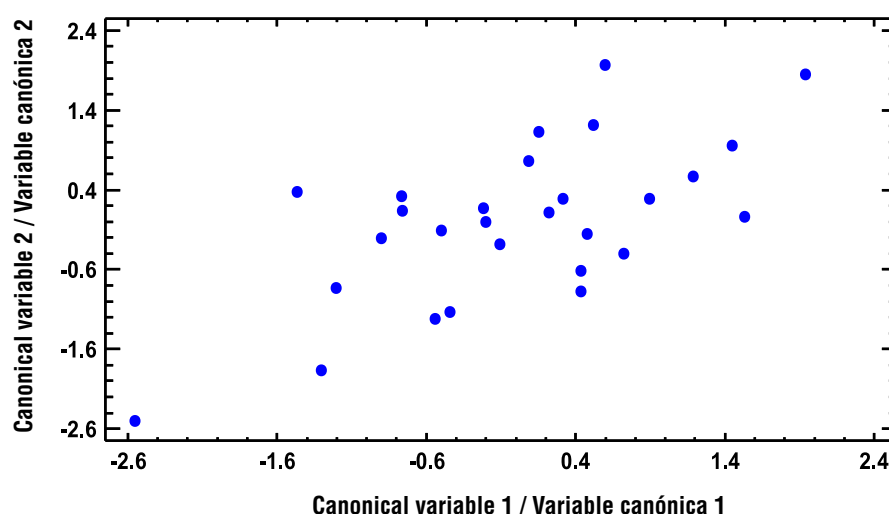


Figure 2. Canonical correlation between the set of variables U (foreleg length, ear length, tail length, and withers height) and V (serum concentrations of P, Cu, and Fe) in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). The analysis was based on 28 complete cases and revealed a significant canonical correlation ($p = 0.03$).

Figura 2. Correlación canónica entre el conjunto de variables U (largo de las patas delanteras, largo de las orejas, largo de la cola y altura a la cruz) y V (concentraciones séricas de P, Cu y Fe) en venadas de cola blanca (*Odocoileus virginianus*). El análisis se basó en 28 casos completos y reveló una correlación canónica significativa ($p = 0.03$).

In contrast, taller deer tend to show higher serum levels of iron, copper, and phosphorus (Table 2). Consistently, canonical correlation analysis showed positive associations between foreleg length, ear length, tail length, and withers height and serum concentrations of P, Cu, and Fe (Figure 2). These differences likely reflect advantages in the foraging abilities of taller deer, such as greater reach, strength, and physical agility, which facilitate access to specific parts of forage plants, including shoots and young leaves, as documented in goats under extensive grazing conditions (Mellado et al., 2004).

Phosphorus tends to accumulate in actively growing tissues, with substantial transfer from branches to developing leaves (Shane, 2004); therefore, taller deer may have had greater access to young shrub leaves and, consequently, ingested more P than smaller deer. Similarly, in desert plants, Cu is primarily concentrated in the leaves, suggesting that the selection of young shoots by taller deer could explain the higher concentration of this element observed in these individuals.

Conclusions

The serum biochemistry of white-tailed deer at the onset of gestation in a region of the Chihuahuan Desert showed variation according to body measurements. The negative relationship between body size and glucose and cholesterol concentrations highlights the potential need for dietary supplementation during this period. Additionally, the results indicate that smaller deer showed higher concentrations of serum metabolites associated with energy reserves. In contrast, larger female deer showed high serum concentrations of P, Cu, and Fe, suggesting a greater capacity to consume mineral-rich components. Serum metabolites helped to characterize certain body measurements and, therefore, could be used to determine when to initiate emergency feeding programs for underdeveloped deer.

Acknowledgments

This study was funded by the *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro* (Project 03001-2258).

End of English version

References / Referencias

- Arnemo, J. M., & Ranheim, B. (1999). Effects of medetomidine and atipamezole on serum glucose and cortisol levels in captive reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*). *Rangifer*, 19(2), 85-89. <https://doi.org/10.7557/2.19.2.284>
- Ashour, G., Gad, A., Fayed, A. K., Ashmawy, N. A., & El- Sayed, A. (2020). Evaluation of growth performance, blood metabolites and gene expression analysis in Egyptian sheep breeds, in

que los individuos más grandes podrían enfrentar mayores dificultades para satisfacer sus requerimientos energéticos, lo que conduce a una mayor movilidad y un eventual agotamiento de las reservas corporales.

La menor concentración de glucosa sérica en las venadas más altas también se puede deber a la restricción energética, lo cual sugiere que el plano nutricional disponible era inadecuado para cubrir las necesidades metabólicas durante la primera etapa del embarazo. Cabe destacar que el estudio se realizó durante el invierno, época caracterizada por la escasez de forraje en el área de estudio; por lo tanto, las venadas de mayor tamaño aparentemente no obtuvieron los nutrientes necesarios para mantener tanto los procesos corporales como la actividad física normal.

En contraste, las venadas más altas tendieron a presentar niveles más elevados de hierro, cobre y fósforo (Cuadro 2). De manera consistente, el análisis de correlación canónica mostró asociaciones positivas entre el largo de las patas delanteras, el largo de las orejas, el largo de la cola y la altura a la cruz con los niveles séricos de P, Cu y Fe (Figura 2). Estas diferencias probablemente reflejan ventajas en las capacidades de forrajeo de las venadas más altas (como mayor alcance, fuerza y destreza física), lo cual facilita el acceso a partes específicas de las plantas forrajeras, como brotes y hojas jóvenes, tal como se ha documentado en caprinos en condiciones de pastoreo extensivo (Mellado et al., 2004).

El fósforo tiende a acumularse en los tejidos en crecimiento activo, con una transferencia sustancial de las ramas a las hojas en desarrollo (Shane, 2004); por lo tanto, es posible que las venadas más altas tuvieran un mayor acceso a las hojas tiernas de los arbustos y, en consecuencia, ingirieran más P que las venadas más pequeñas. De manera similar, en plantas del desierto, el Cu se concentra principalmente en las hojas, lo que sugiere que la selección de brotes tiernos por parte de las venadas más altas podría explicar las mayores concentraciones de este elemento en dichos individuos.

Conclusiones

La bioquímica sérica de las venadas de cola blanca al inicio de la gestación en una zona del desierto de Chihuahua mostró variaciones en función de las medidas corporales. La relación negativa entre el tamaño y las concentraciones de glucosa y colesterol sugiere la necesidad de suplementar la alimentación durante este periodo. Asimismo, los resultados indican que las venadas más pequeñas presentaron concentraciones más elevadas de metabolitos séricos asociados con las reservas energéticas. En contraste, las hembras de mayor tamaño mostraron concentraciones

- relation to age. *World Veterinary Journal*, 10(4), 18-29. <https://doi.org/10.36380/scil.2020.wvj3>
- Bishop, C. J., White, G. C., Freddy, D. J., Watkins, B. E., & Stephenson, T. R. (2009). Effect of enhanced nutrition on mule deer population rate of change. *Wildlife Monographs*, 172(1), 1-28. <https://doi.org/10.2193/2008-107>
- Boesch, J. M., Boulanger, J. R., Curtis, P. D., Erb, H. N., Ludders, J. W., Kraus, M. S., & Gleed, R. D. (2011). Biochemical variables in free-ranging white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) after chemical immobilization in clover traps or via ground-darting. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 42(1), 18-28. <https://doi.org/10.1638/2009-0146.1>
- Burdic, S., Mitchell, M. A., Neil, J., Heggem, B., Whittington, J., & Acierno, M. J. (2012). Evaluation of two point-of-care meters and a portable chemistry analyzer for measurement of blood glucose concentrations in juvenile white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 240(5), 596-599. <https://doi.org/10.2460/javma.240.5.596>
- Cabanac, A. J., Ouellet, J. P., Crête, M., & Rioux, P. (2005). Urinary metabolites as an index of body condition in wintering white-tailed deer *Odocoileus virginianus*. *Wildlife Biology*, 11(1), 59-66. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2005\)11\[59:UMAAIO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2005)11[59:UMAAIO]2.0.CO;2)
- Cain, J. W., Gedir, J. V., Marshal, J. P., Krausman, P. R., Allen, J. D., Duff, G. C., Jansen, B. D., & Morgart, J. R. (2017). Extreme precipitation variability, forage quality and large herbivore diet selection in arid environments. *Oikos*, 126(10), 1459-1471. <https://doi.org/10.1111/oik.04282>
- Carbone, J. W., McClung, J. P., & Pasiakos, S. M. (2012). Skeletal muscle responses to negative energy balance: effects of dietary protein. *Advances in Nutrition*, 3(2), 119-126. <https://doi.org/10.3945/an.111.001792>
- Drennan, M. J., McGee, M., & Keane, M. G. (2008). The value of muscularity and skeletal scores in the live animal and carcass grades as indicators of carcass composition in cattle. *Animal*, 2(5), 752-760. <https://doi.org/10.1017/S1751731108001754>
- Federation of Animal Science Societies (FASS). (2010) *Guide for care and use of agricultural animals in research and teaching* (3rd Edition). American Dairy Science Association - American Society of Animal Science - the Poultry Science Association.
- Fiske, C. H., & Subbarow, Y. J. (1925). The colorimetric determination of phosphorus. *Journal of Biological Chemistry*, 66(2), 375-400. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)84756-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)84756-1)
- Greenwood, M. P., Kelley, S. F., Urso, P. M., Anderson, M. J., Beverly, M. M., Barr, C., & Stewar, C. R. (2023). Determination of blood micromineral and fat-soluble vitamin values for white-tailed deer. *The Texas Journal of Agriculture and Natural Resources*, 36, 13-23. <https://txjanr.agintexas.org/index.php/txjanr/article/view/441>
- Jaquiere, A. L., Oliver, M. H., Landon-Lane, N., Matthews, S. J., Harding, J. E., & Bloomfield, F. H. (2013). Unpredictable feeding impairs glucose tolerance in growing lambs. *PLOS One*, 8(4), e61040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061040>
- Kida, K. (2003). Relationships of metabolic profiles to milk production and feeding in dairy cows. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 65(6), 671-677. <https://doi.org/10.1292/jvms.65.671>
- séricas más elevadas de P, Cu y Fe, lo cual sugiere una mayor capacidad para consumir componentes ricos en estos minerales. Los metabolitos séricos ayudaron a describir algunas medidas corporales y, por lo tanto, se podrían utilizar para determinar cuándo iniciar un programa de alimentación de emergencia en venadas poco desarrolladas.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Proyecto 03001-2258).

Fin de la versión en español

- Kohli, M., Sankaran, M., Suryawanshi, K. R., & Mishra, C. (2014). A penny saved is a penny earned: lean season foraging strategy of an alpine ungulate. *Animal Behaviour*, 92, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.03.031>
- Lambe, N. R., Navajas, E. A., Schofield, C. P., Fisher, A. V., Simm, G., Roehe, R., & Bünger, L. (2008). The use of various live animal measurements to predict carcass and meat quality in two divergent lamb breeds. *Meat Science*, 80(4), 1138-1149. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.026>
- Lomas, L. A., & Bender, L. C. (2007). Survival and cause-specific mortality of neonatal mule deer fawns, north-central New Mexico. *Journal of Wildlife Management*, 71(3), 884-894. <https://doi.org/10.2193/2006-203>
- Mellado, M., Rodríguez, A., Villarreal, J. A., & Lopez, R. (2004) Height to withers and abdominal circumference effects on diets of grazing goats. *Applied Animal Behaviour Science*, 88(3-4), 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.03.011>
- Milner, J. M., van Beest, F. M., Solberg, E. J., & Storaas, T. (2013). Reproductive success and failure: The role of winter body mass in reproductive allocation in Norwegian moose. *Oecologia*, 172(4), 995-1005. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2547-x>
- Minami, M., Oonishi, N., Higuchi, N., Okada, A., & Takatsuki, S. (2012). Costs of parturition and rearing in female sika deer (*Cervus nippon*). *Zoological Science*, 29(3), 147-151. <https://doi.org/10.21108/zsj.29.147>
- Monteith, K. L., Long, R. A., Stephenson, T. R., Bleich, V. C., Bowyer, R. T., & LaSharr, T. N. (2018). Horn size and nutrition in mountain sheep: can ewe handle the truth?. *Journal of Wildlife Management*, 82(1), 67-84. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21338>
- Monteith, K. L., Stephenson, T. R., Bleich, V. C., Conner, M. M., Pierce, B. M., & Bowyer, R. T. (2013). Risk-sensitive allocation in seasonal dynamics of fat and protein reserves in a long-lived mammal. *Journal of Animal Ecology*, 82(2), 377-388. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12016>
- Moratz, K. L., Gullikson, B. S., Michel, E. S., Grove, D. M., Jenks, J. A., & Jensen, W. F. (2019). Serological survey and pathogen exposure of adult female white-tailed deer in the Western Dakotas. *The Prairie Naturalist*, 51, 58-67. https://openprairie.sdstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1303&context=nrm_pubs

- Parker, K. L., Barboza, P. S., & Gillingham, M. P. (2009). Nutrition integrates environmental responses of ungulates. *Functional Ecology*, 23(1), 57-69. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01528.x>
- Peterson, B. C., Koupal, K. D., Schissel, A. K., & Siegel, C. M. (2015). Longevity of mineral supplements within the soil and associated use by white-tailed deer. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences and Affiliated Societies*, 35, 61-67. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1486&context=tnas>
- Ruhe, R. C., Curry, D. L., Herrmann, S., & McDonald, R. B. (1992). Age and gender effects on insulin secretion and glucose sensitivity of the endocrine pancreas. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 262(4), 671-676. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1992.262.4.R671>
- Severinghaus, C. W. (1949). Tooth development and wear as criteria of age in white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management*, 13(2), 195-216. <https://www.jstor.org/stable/pdf/3796089.pdf>
- Shane, M. W., McCully, M. E., & Lambers, H. (2004). Tissue and cellular phosphorus storage during development of phosphorus toxicity in *Hakea prostrata* (Proteaceae). *Journal of Experimental Botany*, 55(399), 1033-1044. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh111>
- Stringer, E. M., Kennedy-Stoskopf, S., Chitwood, M. C., Thompson, J. R., & dePerno, C. S. (2011). Hyperkalemia in free-ranging white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). *Journal of Wildlife Diseases*, 47(2), 2011, 307-313. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-47.2.307>
- Tadesse, D., Puchala, R., & Goetsch, A. L. (2021). Effects of restricted feed intake on blood constituent concentrations in Dorper, Katahdin, and St. Croix sheep from different regions of the USA. *Veterinary and Animal Science*, 14, 100211. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100211>
- Tollefson, T. N., Shipley, L. A., Myers, W. L., Keisler, D. H., & Dasgupta, N. (2010). Influence of summer and autumn nutrition on body condition and reproduction in lactating mule deer. *Journal of Wildlife Management*, 74(5), 974-986. <https://doi.org/10.2193/2008-529>
- Van Saun, R. J., & Wagner, D. C. (2025). Nutrition of deer. In A. P. Foster (Ed.), *Deer veterinary medicine* (pp. 151-176). Wiley & Sons Ltd.
- Wang, M., Guo, Q., Shan, Y., Cheng, Z., Zhang, Q., Bai, J., Dong, Y., & Zhong, Z. (2024). Effects of probiotic supplementation on body weight, growth performance, immune function, intestinal microbiota and metabolites in fallow deer. *Biology*, 13(8), 603. <https://doi.org/10.3390/biology13080603>