







Respuesta de un reconstituyente metabólico y glutamato monosódico en la tasa de gestación en ovejas

Metabolic reconstituent and monosodium glutamate response on pregnancy rate in ewes

José Antonio Hernández-Marín¹ , César Andrés Ángel-Sahagún¹ , Adelaido Rafael Rojas-García² , Francisco Antonio Cigarroa-Vázquez³ , Griselda Maki-Díaz⁴ , Said Cadena-Villegas^{5*} 

¹Departamento de Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Guanajuato. Carretera Irapuato-Silao km 9, Exhacienda El Copal, CP. 36500. Irapuato, Guanajuato, México.

²Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia Núm. 2, Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera federal Acapulco-Pinotepa Nacional 131, CP. 41949. San Francisco, Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

³Escuela de Estudios Agropecuarios Mezcalapa, Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Chicoasén-Malpaso km 24.3, San Miguel El Cocal, CP. 29625. Copainalá, Chiapas, México.

⁴Departamento de Arte y Empresa, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5+1.8, CP. 36880. Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Guanajuato, México.

⁵Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina km 3 carretera Cárdenas-Huimanguillo, CP. 86500. Heroica Cárdenas, Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: scadena@colpos.mx

Artículo científico

Recibido: 21 de marzo 2024

Aceptado: 04 de octubre 2024

RESUMEN. Se evaluó la acción de un reconstituyente metabólico (REC) y glutamato monosódico (GLU) durante la sincronización del estro en ovejas, con progestágeno (CIDR) y prostaglandinas (PGF2 α). Se utilizaron 54 ovejas multíparas y se asignaron aleatoriamente a uno de tres tratamientos: TESTIGO (n = 18): 50 mL de solución salina vía subcutánea (SC) y 50 mL de solución salina vía oral (VO); REC (n = 18): 50 mL de un reconstituyente metabólico vía SC y 50 mL de solución salina VO; GLU (n = 18): 0.5 g de glutamato monosódico por kg de peso vivo, disueltos en 50 mL de suero fisiológico VO y adicionalmente, 50 mL de suero fisiológico vía SC. El REC y GLU se administraron una vez al día durante los últimos tres días previos al retiro del CIDR. Para el análisis de las variables expresadas en %: respuesta al estro (RE), retorno al estro (RET) y gestación (GES) se utilizó la prueba de χ^2 y los datos del inicio del estro (IE) y duración del estro (DE) se analizaron con la prueba de Kruskal-Wallis. La respuesta fue diferente ($P \leq 0.05$) para RE, DE y GEST, pero similar ($P > 0.05$) para IE y RET en las ovejas sincronizadas con CIDR y PGF2 α . El glutamato monosódico mejora la respuesta al estro, la duración del estro y la tasa de gestación, sin afectar el inicio del estro ni el retorno al estro en ovejas sincronizadas con un progestágeno y prostaglandinas.

Palabras clave: AminoLite, CIDR, l-glutamato, *Ovis aries*, tasa de gestación.

ABSTRACT. The action of a metabolic restorative (REC) and monosodium glutamate (GLU) was evaluated during the synchronization of estrus in ewes, with progestogen (CIDR) and prostaglandins (PGF2 α). Fifty-four multiparous ewes were used and randomly assigned to one of three treatments: CONTROL (n = 18): 50 mL of saline subcutaneously (SC) and 50 mL of saline orally (PO); REC (n = 18): 50 mL of a metabolic restorative via SC and 50 mL of saline PO; GLU (n = 18): 0.5 g of monosodium glutamate per kg of live weight, dissolved in 50 mL of physiological saline PO and additionally, 50 mL of physiological saline via SC. REC and GLU were administered once daily for the last three days prior to CIDR withdrawal. For the analysis of the variables expressed in %: response to estrus (RE), duration of estrus (DE), return to estrus (RET) and pregnancy (GES), the χ^2 test was used and the data on the onset of estrus (OE) and duration of estrus (DE) were analyzed with the Kruskal-Wallis test. The response was different ($P \leq 0.05$) for RE, DE and GEST, but similar ($P > 0.05$) for OE and RET in ewes were synchronized with CIDR and PGF2 α . Monosodium glutamate improves the response to estrus, the duration of estrus and the pregnancy rate, without affecting the onset of estrus or the return to estrus in ewes synchronized with a progestogen and prostaglandins.

Keywords: AminoLite, CIDR, l-glutamate, *Ovis aries*, pregnancy rate.

Como citar: Hernández-Marín JA, Ángel-Sahagún CA, Rojas-García AR, Cigarroa-Vázquez FA, Maki-Díaz G, Cadena-Villegas S (2024) Respuesta de un reconstituyente metabólico y glutamato monosódico en la tasa de gestación en ovejas. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. IV: e4090. DOI: 10.19136/era.a11nIV.4090.

INTRODUCCIÓN

La sincronización del estro es un importante factor reproductivo el cual se describe como el control artificial del ciclo estral o la inducción del estro, para que una gran cantidad de hembras manifiesten estro en un tiempo corto y determinado (Arya *et al.* 2023). Su importancia en la producción de ovinos se basa en mejorar la eficiencia productiva y reproductiva del rebaño acortando el intervalo de estros y aumentando la tasa de gestación (Yu *et al.* 2022). Durante las últimas dos décadas, los protocolos de sincronización del estro en ovejas mayormente utilizados se basan en progestágenos (P₄), principalmente en la presentación de un dispositivo intravaginal liberador de progesterona (CIDR). Por otro lado, las prostaglandinas (PGF₂α) son eficaces para sincronizar el estro de manera exitosa pero sólo durante la época reproductiva, con la finalidad de lisis el cuerpo lúteo (CL) cuando es receptivo a la PGF₂α (Hameed *et al.* 2021). Al respecto, se han reportado resultados favorables para mantener la eficiencia reproductiva en ovejas de pelo con un protocolo de sincronización del estro basado en un CIDR con permanencia de cinco, siete o nueve días asociados con una inyección de PGF₂α dos días antes del retiro (Balan-May *et al.* 2021).

Con respecto al manejo nutricional en ovejas, se ha reportado que la acción de las señales metabólicas estimula el desarrollo de los folículos ováricos, lo que incrementa la tasa ovulatoria y, en consecuencia, la tasa de gestación (Martin 2022). Mientras que Gilbreath *et al.* (2021), reportaron que el uso de aminoácidos puede ser una estrategia nutricional que mejore la fertilidad y promueva la eficiencia reproductiva en la producción de rumiantes, debido a que la actividad neuronal regula los cambios neuroendocrinos y hormonales durante el ciclo estral mediante la participación de diversos aminoácidos que actúan como neurotransmisores (Cao *et al.* 2021). En tanto que Luna-García *et al.* (2022), describieron que probablemente, el glutamato reduce la acción de la dopamina sobre las neuronas productoras de kisspeptina, estimula los centros del hipotálamo que sintetizan y secretan la GnRH, lo que resulta en un incremento de los pulsos de la LH y actúa directamente en la actividad ovárica. En estudios en cabras, Cadena-Villegas *et al.* (2022) reportaron que la aplicación de 100 mL de un reconstituyente metabólico que contiene L-arginina, ácido aspártico y ácido glutámico reduce el inicio del estro, e incrementa la fecundidad y la prolificidad como respuesta a la sincronización del estro; mientras que Conde *et al.* (2023) sugieren que la administración de 10 mg de glutamato/kg de peso vivo (PV) en dos dosis cada cinco días demostró ser un tratamiento eficaz para la estimulación ovárica. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta fisiológica de un reconstituyente metabólico y glutamato monosódico durante la sincronización del estro con un progestágeno y prostaglandinas en ovejas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

La investigación se desarrolló en 2021, al inicio de la época reproductiva (octubre-noviembre) en una unidad de producción ovina en Cortazar, Guanajuato, México. Localizada a los 20° 28' 59'' N y 100° 52' 58'' O, a una altitud de 1730 metros. El estudio se realizó de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas NOM-051-ZOO-1995 (SAGARPA 1995b) y NOM-024-ZOO-1995 (SAGARPA 1995a).

Características de los animales de estudio

Para cada animal en estudio, se registró la edad (calculada mediante fórmula dentaria), peso corporal (determinada con una báscula digital), condición corporal (CC) evaluada en escala de 1 a 5 unidades (Russel *et al.* 1969), y el rebaño se reportó clínicamente sano antes y durante la fase experimental. Se utilizaron 54 ovejas de pelo no gestantes con promedios de 1.5 partos, 2.7 años de edad, 52.3 kg de peso vivo (PV), y 2.5 puntos de CC. Además, tres carneros de pelo con promedios de 2.4 años de edad, 75.2 kg de PV, y 3 puntos de CC. Todos los animales se alojaron en corrales que disponían de recipientes con agua a libre acceso, comederos rústicos de madera y metal, diseñados con un mecanismo de sujeción para facilitar su manejo.

Manejo experimental de los animales

Previo al inicio del experimento, los ovinos se despezuñaron y se desparasitaron con 200 µg kg⁻¹ de ivermectina. A los carneros se les evaluó la calidad seminal de un eyaculado de semen fresco donde se determinaron las características macroscópicas y microscópicas, éstas últimas mediante un microscopio. Durante la fase experimental, se ofreció dos veces al día una dieta a base de molido de esquilmo de maíz y grano de maíz (40%), heno de alfalfa (30%) y ensilado de maíz (30%). En promedio, cada ovino consumió 4.0 kg de esta dieta al día.

Tratamientos y protocolo de sincronización del estro

A todas las ovejas se les insertó un dispositivo intravaginal liberador de progesterona (0.3 g de P₄; CIDR®, Registro SAGARPA: Q-1196-403) el cual permaneció durante 9 días, y en el día 7 del protocolo, se les aplicó vía intramuscular 5 mg de dinoprost (1 mL de PGF_{2α}; Lutalyse®, Registro SAGARPA: Q-1196-408) para inducir la lisis de cuerpos lúteos (CL) presentes. Durante el protocolo de sincronización del estro, se evaluó la respuesta de tres tratamientos: T1 (n = 18; TESTIGO), ovejas tratadas con 50 mL vía subcutánea (VS) de suero fisiológico, más 50 mL vía oral (VO) de suero fisiológico; T2 (n = 18), ovejas tratadas con 50 mL VS de un reconstituyente metabólico compuesto por aminoácidos neuroexcitadores, electrolitos y vitamina B12 (Amino-Lite®; Registro SAGARPA: Q-0171-005), más 50 mL VO de suero fisiológico; y T3 (n = 18), ovejas tratadas con 50 mL VS de suero fisiológico, más 50 mL VO de suero fisiológico en la que se disolvieron previamente 0.5 g de glutamato monosódico (sal de sodio del ácido glutámico; AJINOMOTO®) por kg de PV de cada oveja. En T2 y T3, el reconstituyente metabólico y el glutamato monosódico se suministraron una vez por día durante los últimos tres días antes del retiro del CIDR (Figura 1).

Después de retirar los CIDR, se realizó cada 12 h la detección del estro en las ovejas con la introducción por 60 min de un carnero celador provisto de un mandil para evitar la cópula, durante 120 horas en total. A todas las ovejas en estro se les proporcionó una monta natural controlada inmediatamente después de ser detectadas, seguida de una segunda monta 12 h más tarde. Se replicaron las metodologías descritas para la monta natural controlada, la detección del estro (Balan-May *et al.* 2021), duración del estro y el retorno al estro (Cadena-Villegas *et al.* 2022), y para el diagnóstico de gestación (Flores-Santiago *et al.* 2021).

Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres tratamientos y 18 repeticiones cada uno. Para el análisis de las variables expresadas en %: respuesta al estro (RE), retorno al estro

(RET) y gestación (GES) se utilizó la prueba de χ^2 . Los datos del inicio del estro (IE) y duración del estro (DE) expresado en h, se analizaron previamente con la prueba de Shapiro Wilk para evaluar normalidad, como los resultados no fueron normales, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis. Todos los datos se analizaron con el programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute Inc, versión 9.4).

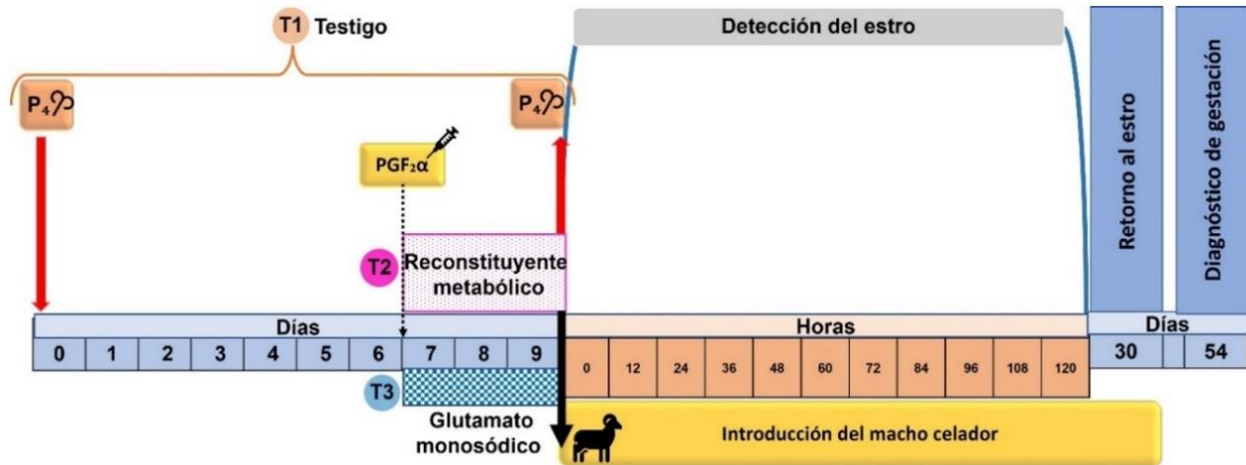


Figura 1. Protocolo de sincronización del estro a base de un progestágeno (P_4 , CIDR®) y prostaglandinas ($PGF_{2\alpha}$; Lutalyse®) en ovejas tratadas con un reconstituyente metabólico (Amino-Lite®) y glutamato monosódico (AJINOMOTO®).

RESULTADOS

El efecto de los tratamientos fue diferente ($P \leq 0.05$) para la respuesta al estro en ovejas. La respuesta del glutamato monosódico fue similar ($P > 0.05$) al testigo, pero mayor ($P \leq 0.05$) que la del reconstituyente metabólico (Tabla 1). Todas las ovejas tratadas con glutamato monosódico presentaron estro, y se observó 27.78% mayor respuesta con respecto a las tratadas con el reconstituyente metabólico; por lo que se sugiere incluir glutamato monosódico en los protocolos de sincronización del estro con un progestágeno y prostaglandinas en ovejas.

Tabla 1. Respuesta al estro en ovejas tratadas con dos fuentes de aminoácidos neuroexcitadores durante la sincronización del estro.

Tratamientos	n	Ovejas en estro	
		n	%
Testigo	18	17	94.44 ^{ab}
Reconstituyente metabólico	18	13	72.22 ^b
Glutamato monosódico	18	18	100.00 ^a
<i>P-value</i>		0.02	

^{a, b}: Valores con distinta literal en la misma columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

El efecto de los tratamientos fue similar ($P > 0.05$) para el inicio del estro, pero diferente ($P \leq 0.05$) para la duración del estro en ovejas. En la duración del estro, la respuesta del glutamato monosódico fue similar ($P > 0.05$) a la del tratamiento testigo, pero superior ($P \leq 0.05$) a la del reconstituyente metabólico (Tabla 2). El estro de las ovejas que recibieron tratamiento con glutamato monosódico se prolongó alrededor de 9 horas más en comparación con aquellas tratadas con el reconstituyente metabólico; por lo que se sugiere incluir glutamato monosódico en los protocolos de sincronización del estro cuando se realiza monta natural controlada en ovejas.

Tabla 2. Inicio y duración del estro en ovejas tratadas con dos fuentes de aminoácidos neuroexcitadores durante la sincronización del estro.

Tratamientos	Ovejas en estro (n)	Estro	
		Inicio (h)	Duración (h)
Testigo	17	40.37 ± 4.28	17.26 ± 1.45 ^{ab}
Reconstituyente metabólico	13	33.38 ± 8.03	13.69 ± 1.42 ^b
Glutamato monosódico	18	38.00 ± 4.36	22.66 ± 2.35 ^a
<i>P-value</i>		0.67	0.004

^{a, b}: Valores con distinta literal en la misma columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

El efecto de los tratamientos fue similar ($P > 0.05$) para el retorno del estro, pero diferente ($P \leq 0.05$) para la tasa de gestación en ovejas. En la tasa de gestación, la respuesta del glutamato monosódico fue similar ($P > 0.05$) a la del tratamiento testigo y la del reconstituyente metabólico fue menor ($P \leq 0.05$) que la de los demás tratamientos (Tabla 3). Dado que las ovejas tratadas con el reconstituyente metabólico mostraron menor respuesta al estro y con menor duración del estro; por tanto, la cantidad de ovejas que retornaron al estro no favoreció la tasa de gestación, ya que resultó 21.79% menor con respecto a las tratadas con glutamato monosódico; lo cual puede influir en la elección de un protocolo deseable para la sincronización del estro en ovejas. Por lo que se sugiere incluir glutamato monosódico en los protocolos de sincronización del estro con CIDR® por 9 d.

Tabla 3. Retorno al estro y tasa de gestación y de retorno al estro en ovejas tratadas con dos fuentes de aminoácidos neuroexcitadores durante la sincronización del estro.

Tratamientos	Ovejas en estro (n)	Ovejas que retornaron al estro		Ovejas diagnosticadas gestantes	
	n	n	%	n	%
Testigo	17	2	11.76	15	88.24 ^a
Reconstituyente metabólico	13	5	38.46	8	61.54 ^b
Glutamato monosódico	18	3	16.67	15	83.33 ^a
<i>P-value</i>			0.18		0.001

^{a, b}: Valores con distinta literal en la misma columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

Se ha reportado 100% de respuesta al estro con protocolos cortos a base de un progestágeno intravaginal (CIDR) y prostaglandinas (Balan-May *et al.* 2021). También protocolos basados en dos dosis de d-cloprostenol (PGF 2α) con un intervalo de 12 días entre ambas aplicaciones, han obtenido 87% de ovejas en estro (Alavez-Ramírez *et al.* 2018), mientras que con un protocolo solo de CIDR de 12 días, se ha alcanzado 94% de ovejas en estro (Rosasco *et al.* 2019). Estos resultados difieren con la respuesta al estro de las ovejas testigo en el presente estudio. Se sabe que, en ovejas, los protocolos más utilizados para la sincronización del estro a base de P $_4$ comprenden de 3 hasta 14 días de duración y que la acción de las PGF 2α solo responderá durante la época reproductiva debido a la actividad fisiológica de al menos un cuerpo lúteo (CL) activo (Hameed *et al.* 2021). Sin embargo, como transferencia de tecnología, la sincronización del estro debe resultar en un manejo reproductivo económico, rentable y eficiente (Cadena-Villegas *et al.* 2023); por lo tanto, debe considerarse de manera importante incluir estrategias de manejo nutricional durante el manejo reproductivo para garantizar el éxito en el protocolo de la sincronización del estro en ovejas (Arya *et al.* 2023). En este sentido, la acción de aminoácidos neuroestimuladores promueve la eficiencia reproductiva en la producción de rumiantes (Alvarez-Cardona *et al.* 2019, Gilbreath *et al.* 2021); por ejemplo, la suplementación con glutamato monosódico ha mejorado la actividad ovárica en cabras (Conde *et al.* 2023, Soares *et al.* 2023). Lo anterior, pudo haber acontecido en la respuesta al estro en las ovejas tratadas con glutamato monosódico durante la sincronización del estro, en el presente estudio. Es probable que, el glutamato monosódico haya influido en el desarrollo folicular ovárico y provocado un incremento en la cantidad de folículos ováricos dominantes, lo cual pudo haber producido un aumento de estrógenos y como consecuencia, mantuvo mayor respuesta y duración del estro; como respuesta fisiológica de la acción neuroestimuladora en la secreción de la GnRH-LH. Debido a que, durante la fase folicular ovárica en ovejas, un incremento en la concentración de estradiol (E $_2$) propicia el transporte de glutamato, lo cual posiblemente responde en la retroacción positiva de la liberación de la GnRH y el incremento del pico preovulatorio de la LH (Porter *et al.* 2021). Por el contrario, las ovejas tratadas con el reconstituyente metabólico redujeron en 27.78% la respuesta al estro en el presente estudio. Posiblemente, la acción de la energía, las vitaminas, y los aminoácidos contenidos en el reconstituyente metabólico, experimentó alguna falla neuroendocrina en la comunicación endocrina hipotálmica-adenohipofisiaria y no respondió completamente a nivel ovárico; debido a que los eventos reproductivos pueden ser alterados mediante la suplementación de ciertos compuestos, energéticos o proteicos, en rutas neuroendocrinas dependientes de hormonas metabólicas o de los niveles circulantes de gonadotropinas (Meza-Herrera *et al.* 2014).

Uno de los principales objetivos de la sincronización del estro con progestágenos y prostaglandinas es acortar o prolongar la duración de la fase lútea y que la mayoría de las hembras presenten estro en las primeras 48 h después de retirar el progestágeno (Hameed *et al.* 2021). En un protocolo de sincronización del estro en cabras, se aplicaron vía intramuscular tres inyecciones (días 0, 7 y 14 del protocolo) de d-cloprostenol (100 μ g de PGF 2α cada una) y se administraron vía intravenosa 10 mg/kg de PV de glutamato (L-ácido glutámico) en el día 9 (única inyección, G1), y en los días 9 y 14 (doble inyección, G2) del protocolo; además, a un tratamiento testigo (T) se les inyectó 100 mL de solución salina en el día 9 del protocolo (Conde *et al.* 2023). Estos autores no encontraron

diferencias ($P > 0.05$) en el inicio (T: 36.3 h, G1: 35.2 h, y G2: 45.2 h, respectivamente) ni en la duración del estro (T: 56.7 h, G1: 52.7 h, y 70.0 h, respectivamente) entre tratamientos. Lo que coincide con los valores obtenidos para el inicio del estro, pero difiere con la duración del estro en el presente estudio. Por otro lado, durante la sincronización del estro, la respuesta de la nutrición puede observarse al complementar la dieta con aminoácidos neuroestimuladores (McCoard 2016) o con energía (Hernández-Marín *et al.* 2022). En un estudio en ovejas prepúberes Pelibuey con 'efecto macho', Hernández-Marín *et al.* (2016) administraron un reconstituyente energético que contenía aminoácidos neuroexcitadores: L-arginina, ácido aspártico y ácido glutámico, y encontraron que el 'efecto macho' y su interacción con el reconstituyente energético inducen el pico preovulatorio de LH y la primera ovulación. Se ha reportado que el principal neurotransmisor que promueve la actividad neuroendocrina durante la reproducción en los mamíferos es el glutamato (Chiang y Park 2020). Lo anterior, se observó en la reducción de 8.99 h de la duración del estro en las ovejas tratadas con el reconstituyente metabólico con respecto a aquellas tratadas con glutamato monosódico durante la sincronización del estro, en el presente estudio. Es probable que la duración del estro en las ovejas tratadas con el reconstituyente metabólico, resultó por una reducción en la fase lútea del ciclo estral o por la capacidad de respuesta del CL a la $PGF2\alpha$ (Fierro *et al.* 2013). Posiblemente, la acción del reconstituyente metabólico afectó la actividad neuroendocrina del hipotálamo, inhibiendo o alterando el patrón pulsátil de la GnRH, cambiando el crecimiento y la diferenciación folicular ovárica, o interfiriendo con la producción de estrógenos y, posteriormente, P_4 por el cuerpo lúteo (Alves *et al.* 2019). Por lo anterior, los resultados sugieren que el glutamato pudiera utilizarse como alternativa de suplementación nutricional que ayude a estimular la actividad hormonal del eje reproductivo durante la sincronización del estro con progestágeno y prostaglandinas. Debido a que, la secreción de la GnRH es estimulada por el glutamato y este mismo es regulado por P_4 y E_2 , que, dependiendo de la fase del ciclo estral influirá en la liberación de la FSH o los pulsos de la LH (Barth *et al.* 2015). Sin embargo, se requiere realizar mayor investigación de este aminoácido en relación con hormonas metabólicas y reproductivas, que participan directamente en la actividad folicular ovárica para regular la respuesta, el inicio y la duración del estro en ovejas.

En el presente estudio, el porcentaje de retorno al estro fue bajo y no difirió entre tratamientos. Al respecto, se sabe que la P_4 y los progestágenos relacionados con gonadotropinas y sustancias luteolíticas, además de favorecer la inducción o sincronización del estro (Abecia *et al.* 2012), también mejoran el incremento de la tasa de fecundidad (Pérez-Clariget *et al.* 2012) y, por consiguiente, la tasa de retorno al estro se reduce. Lo anterior responde cuando se administran progestágenos durante 12 a 14 días; sin embargo, durante el sexto o séptimo día del protocolo, la concentración de P_4 en sangre disminuye, lo cual limita el desarrollo del folículo ovárico dominante, por lo que el óvulo presenta una disminución en la fertilidad al momento de retirar del dispositivo intravaginal (Espinosa-Molina *et al.* 2022).

Por otro lado, es importante evaluar las dietas con diferentes fuentes energéticas sin afectar el manejo reproductivo; por tanto, el glutamato monosódico ejerce un efecto positivo sobre la respuesta reproductiva en ovejas y cabras y, a su vez, representa un complemento nutricional eficaz. Lo anterior, se observó en la disminución del 21.79% de la tasa de gestación en las ovejas tratadas con el reconstituyente metabólico con respecto a aquellas tratadas con glutamato

monosódico durante la sincronización del estro, en el presente estudio. Es probable que la tasa de gestación en las ovejas tratadas con el reconstituyente metabólico haya resultado por una disminución en la secreción hormonal del eje reproductivo para estimular el desarrollo folicular ovárico, lo cual generó un cuerpo lúteo de baja calidad y, por consecuencia, una disminución en la secreción de P₄. Debido a que, la actividad del cuerpo lúteo prepara adecuadamente al endometrio para el desarrollo de la gestación previo a la implantación del embrión, y actúa como regulador en la secreción de las glándulas del endometrio (Patel *et al.* 2015). Meza-Herrera *et al.* (2014, 2020) han reportado resultados favorables en cabras al suplementar con l-glutamato vía intravenosa en diferentes dosis y periodos, de acuerdo con la finalidad reproductiva, ya que la administración de l-glutamato reduce los efectos de la retroacción negativa sobre los centros hipotalámicos que suprimen la liberación de la GnRH (Luna-García *et al.* 2022). Por otro lado, estudios en ovejas sincronizadas con CIDR+PGF2 α han mostrado valores inferiores para la tasa de gestación a los obtenidos en la presente investigación, como lo publicado por Arikan *et al.* (2021) quienes reportaron en época reproductiva 69.78% (194/278 ovejas) y en época de anestro 69.77% (150/215 ovejas). En contraste, Balan-May *et al.* (2021), evaluaron la respuesta del CIDR por 5, 7 y 9 d de duración y reportaron similitud ($P > 0.05$) en la tasa de gestación (5d: 70%, 7d: 90%, y 9d: 90%, respectivamente). Por lo anterior, en la presente investigación la respuesta del protocolo hormonal influyó directamente en el comportamiento reproductivo de las ovejas, lo cual resultó de la interacción entre el sistema nervioso central y el eje reproductivo mediante la acción de las hormonas de la reproducción, los receptores, y el glutamato, el cual es el principal neurotransmisor excitador (Chiang y Park 2020).

CONCLUSIONES

En los protocolos hormonales para la sincronización del estro en ovejas a base de un progestágeno y prostaglandinas, la aplicación de un reconstituyente metabólico no afecta el inicio ni el retorno al estro, pero disminuye la respuesta al estro, reduce su duración y aminora la tasa de gestación. Por el contrario, la administración de glutamato monosódico tampoco altera el inicio ni el retorno al estro, pero mejora la respuesta al estro, prolonga su duración y aumenta la tasa de gestación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato, por el financiamiento otorgado al proyecto 256/2022 en la Convocatoria Institucional de Investigación Científica (CIIC) 2022. A la MVZ Mariana Monserrat González Guevara por su valiosa contribución y participación en el desarrollo del Proyecto de Investigación; al MVZ Emmanuel Maldonado Guerrero por el apoyo técnico durante la fase experimental del estudio. A los propietarios de la granja de ovinos “El Organal”, en Exhacienda de Merino, Cortazar, Guanajuato; por las facilidades brindadas.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Abecia JA, Forcada F, González-Bulnes A (2012) Hormonal control of reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science* 130(3-4): 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.011>
- Alavez-Ramírez A, Meza-Villalvazo VM, Sosa-Arredondo E, Ramírez-Ramírez HA, Magaña-Sevilla H (2018) D-Cloprostenol enhances estrus synchronization in tropical hair sheep. *Tropical Animal Health and Production* 50(50): 991-996. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1522-x>
- Alvarez-Cardona F, Maki-Díaz G, Franco-Robles E, Cadena-Villegas S, Hernández-Marín A (2019) L-Arginina, aspartato y glutamato, y su relación con la reproducción de ovejas. Revisión. *Abanico Veterinario* 9: 1-13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.929>
- Alves JPM, Linhares Fernandes CC, Rossetto R, Pessoa Da Silva C, Oliveira Marques Galvão IT, Bertolini M, Rondina D (2019) Impact of short nutrient stimuli with different energy source on follicle dynamics and quality of oocyte from hormonally stimulated goats. *Reproduction in Domestic Animals* 24(9): 1206–1216. <https://doi.org/10.1111/rda.13500>
- Arikan MS, Mat B, Alkan H, Çevrimli MB, Akin AC, Sahin TS, Tekindal MA (2021) Ameta-analysis of the effects of synchronization protocols applied to sheep in Turkey on pregnancy rates during breeding and non-breeding seasons. *Veterinary Medicine and Science* 7(6): 2280-2289. <https://doi.org/10.1002/vms3.610>
- Arya D, Goswami R, Sharma M (2023) Estrous synchronization in cattle, sheep and goat. *Multidisciplinary Reviews* 6: e2023001. <https://doi.org/10.31893/multirev.2023001>
- Balan-May D, Chiquini-Medina R, Flota-Bañuelos C, Hernández-Marín A, Rosales-Martínez V, Fraire-Cordero S (2021) Protocolos cortos para la sincronización del estro en ovejas de pelo en Campeche, México. *Abanico Veterinario* 11: 1-10. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2021.34>
- Barth C, Villringer A, Sacher J (2015) Sex hormones affect neurotransmitters and shape the adult female brain during hormonal transition periods. *Frontiers in Neuroscience* 9(37): 1-20. <https://doi.org/10.3389%2Ffnins.2015.00037>
- Cadena-Villegas S, Cigarroa-Vázquez F, Hernández-Marín JA, Flores-Santiago EJ, Cortez-Romero C, Sosa-Pérez G (2023) Induction of estrus as a strategy to improve the economic efficiency of the sheep flock. *AgroProductividad Suplemento* 16(12): 137-145. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i12.2780>
- Cadena-Villegas S, Velasco-Villanueva D, Germán-Alarcón C, Salinas-Ríos T, Cortez-Romero C, Hernández-Marín Antonio (2022) Respuesta reproductiva de cabras Saanen x Alpina al aplicar un reconstituyente metabólico durante la sincronización del estro. *Abanico Veterinario* 12: 1-21. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2022.13>
- Cao Y, Yao J, Sun X, Liu S, Martin GB (2021) Amino acids in the nutrition and production of sheep and goats. In: Wu G (eds) *Amino Acids in Nutrition and Health. Advances in Experimental Medicine and Biology* 1285: 63-79. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_5
- Chiang VSC, Park JH (2020) Glutamate in male and female sexual behavior: receptors, transporters, and steroid independence. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* 14: 589882. <http://dx.doi.org/10.3389/fnbeh.2020.589882>
- Conde AJH, Alves JPM, Fernandes CCL, Silva MRL, Cavalcanti CM, Bezerra AF, Teixeira DÍA, Rondina D (2023) Effect of one or two fixed glutamate doses on follicular development, ovarian-intraovarian

- blood flow, ovulatory rate, and corpus luteum quality in goats with a low body condition score. *Animal Reproduction* 20(4): e20220117. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2022-0117>
- Espinoza-Molina S, Espinoza-Rojas G, Ticona-Huaroco C, CCari Huayta M, Pérez Guerra UH, Cruz DJ (2022) Dos protocolos para sincronizar el estro de ovejas lactantes utilizando progestágenos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 33(6): 1-8. <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i6.24095>
- Fierro S, Gil J, Viñoles C, Olivera-Muzante J (2013) The use of prostaglandins in controlling estrous cycle of the ewe: A review. *Theriogenology* 79: 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.10.022>
- Flores-Santiago EJ, Sosa-Montes E, Alejos-de la Fuente JI, Germán-Alarcón CG, Hernández-Marín JA, Cadena-Villegas S (2021) Actividad ovárica y prolificidad de cabras sincronizadas con progestágenos y suplementadas con propionato de calcio. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Número Especial II* 8(2): e2975. <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2975>
- Gilbreath KR, Bazer FW, Satterfield MC, Wu G (2021) Amino acid nutrition and reproductive performance in ruminants. In: Wu G (eds) *Amino acids in nutrition and health. Advances in Experimental Medicine and Biology* 1285: 43-61. Springer, Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_4
- Hameed N, Khan MIR, Zubair M, Andrabi SMH (2021) Approaches of estrous synchronization in sheep: developments during the last two decades: a review. *Tropical Animal Health and Production* 53(5): 485. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02932-8>
- Hernández-Marín JA, Pérez-Hernández P, Cortez-Romero C, Pro-Martínez A, Gallegos-Sánchez J (2022) Focused nutrition during oestrus synchronization in Pelibuey ewes with different body conditions. *South African Journal of Animal Science* 52(4): 492-497. <https://www.ajol.info/index.php/sajas/article/view/245926>
- Hernández-Marín JA, Pro-Martínez A, Cortez-Romero C, Pérez-Hernández P, Herrera-Corredor CA, Gallegos-Sánchez J (2016) Inducción de la ovulación con efecto macho y un reconstituyente energético en ovejas Pelibuey prepúberes. *Agrociencia* 50(7): 811-823.
- Luna-García LA, Meza-Herrera CA, Pérez-Marín CC, Corona R, Luna-Orozco JR, Véliz-Deras FG, Delgado-Gonzalez R, Rodríguez-Venegas R, Rosales-Nieto CA, Bustamante-Andrade JA, Gutierrez-Guzman UN (2022) Goats as valuable animal model to test the targeted glutamate supplementation upon antral follicle number, ovulation rate, and LH-pulsatility. *Biology* 11(7): 1015. <https://doi.org/10.3390/biology11071015>
- Martin GB (2022) Frontiers in sheep reproduction – making use of natural responses to environmental challenges to manage productivity. *Animal Reproduction* 9(4): e20220088. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2022-0088>
- McCoard SA, Sales FA, Sciascia QL (2016) Amino acids in sheep production. *Frontiers in Bioscience (Elite Ed)* 8(2): 264–288. <https://doi.org/10.2741/E766>
- Meza-Herrera CA, González-Velázquez A, Veliz-Deras FG, Rodríguez-Martínez R, Arellano-Rodríguez G, Serradilla JM, García-Martínez A, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U (2014) Short-term glutamate administration positively affects the number of antral follicles and the ovulation rate in cyclic adult goats. *Reproductive Biology* 14(4): 298-301. <https://doi.org/10.1016/j.repbio.2014.05.001>
- Meza-Herrera CA, Vergara-Hernández HP, Paleta-Ochoa A, Álvarez-Ruiz AR, Veliz-Deras FG, Arellano-Rodríguez G, Rosales-Nieto CA, Macias-Cruz U, Rodríguez-Martínez R, Carrillo E (2020) Glutamate supply reactivates ovarian function while increases serum insulin and triiodothyronine concentrations in Criollo x Saanen-Alpine yearlings' goats during the anestrous season. *Animals* 10(2): 234. <https://doi.org/10.3390/ani10020234>
- Patel B, Elguero S, Thakore S, Dahoud W, Bedaiwy M, Mesiano S (2015) Role of nuclear progesterone receptor isoforms in uterine pathophysiology. *Human Reproduction Update* 21(2): 155-73. <http://dx.doi.org/10.1093/humupd/dmu056>

- Pérez-Clariget R, Garese-Raffo JA, Fleischmann-Techera R, Ganzábal-Planinich A, González-Stagnaro C (2012) Sincronización de celos en cabras en estación reproductiva: uso de esponjas de medroxiprogesterona o aplicación de prostaglandina después de cinco días de detección de celos. *Revista Científica, FCV-LUZ* 12(3): 245-251.
- Porter DT, Goodman RL, Hileman SM, Lehman MN (2023) Evidence that synaptic plasticity of glutamatergic inputs onto KNDy neurons during the ovine follicular phase is dependent on increasing levels of oestradiol. *Journal of Neuroendocrinology* 33(3): e12945. <https://doi.org/10.1111/jne.12945>
- Rosasco SL, Beard JK, Hallford DM, Summers AF (2019) Evaluation of estrous synchronization protocols on ewe reproductive efficiency and profitability. *Animal Reproduction Science* 210: 106191. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106191>
- Russel AJF, Doney JM, Gunn RG (1969) Subjective assessment of fat in live sheep. *The Journal of Agricultural Science* 72: 451-454.
- SAGARPA (1995a) Norma Oficial Mexicana 024-ZOO-1995. Especificaciones y características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/202301/NOM-024-ZOO-1995_161095.pdf. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022.
- SAGARPA (1995b) Norma Oficial Mexicana 051-ZOO-1995. Trato humanitario en la movilización de animales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203479/NOM-051-ZOO-1995_230398.pdf. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022.
- Soares ACS, Martins Alves JP, Linhares Fernandes CC, Lopes Silva MR, Herrera Conde AJ, Alves Teixeira DÍ, Rondina D (2023) Use of monosodium-glutamate as a novel dietary supplement strategy for ovarian stimulation in goats. *Animal Reproduction* 20(3): e20230094. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0094>
- Yu X, Bai Y, Yang J, Zhao X, Zhang L, Wang J (2022) Comparison of five protocols of estrous synchronization on reproductive performance of Hu sheep. *Frontiers in Veterinary Science* 9: 843514. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.843514>