

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RESPUESTA REPRODUCTIVA Y METABOLITOS SANGUÍNEOS DE OVEJAS
DORPER TRATADAS CON ÁCIDO FERULICO DURANTE EL ESTRO

Tesis

Que presenta MARGARITA DE LA LUZ CENDEJAS ALATORRE

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Noviembre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RESPUESTA REPRODUCTIVA Y METABOLITOS SANGUÍNEOS DE OVEJAS
DORPER TRATADAS CON ÁCIDO FERULICO DURANTE EL ESTRO

Tesis

Que presenta MARGARITA DE LA LUZ CENDEJAS ALATORRE
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



Dr. Oscar Ángel García
Director (UAAAN)



Dr. Ulises Macías Cruz
Co-Director (UABC)

Torreón, Coahuila

Noviembre 2025

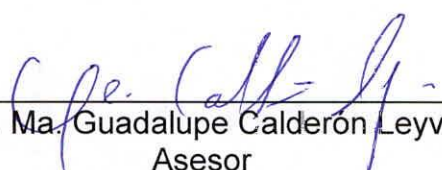
RESPUESTA REPRODUCTIVA Y METABOLITOS SANGUÍNEOS DE OVEJAS
DORPER TRATADAS CON ÁCIDO FERULICO DURANTE EL ESTRO

Tesis

Elaborada por MARGARITA DE LA LUZ CENDEJAS ALATORRE como
requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción
Agropecuaria con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Oscar Ángel García
Director de Tesis

Dr. Ulises Macías Cruz
Asesor

Dra. Ma. Guadalupe Calderón Leyva
Asesor

7. 15-11-2

Dr. Fernando Arellano Rodríguez
Asesor

Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Jefe del Departamento de Postgrado

Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor: Dr. Oscar Ángel García por orientarme y apoyarme a lo largo de este trayecto.

A mi comité: por guiarme y brindarme sus conocimientos cuando se requería

A CONAHCYT: por brindarme la beca con la que he sobrevivido por estos dos años.

A Posgrado de Ciencias de Producción Agropecuaria por aceptarme en su programa y ayudarme a capacitarme durante estos dos años.

DEDICATORIA

- A mis padres

Victoria Alatorre por concebir en mí la vida y la esperanza, que pese a toda adversidad nunca dudo de mí persona, ni de mis capacidades brindándome todo el apoyo que le fue posible y a mi padre Ernesto Cendejas que, aunque no siempre pudo estar presente, entendió mis motivaciones brindándome su apoyo, ambos me han motivado en cada paso que doy guiando y orientando mis acciones, impulsando mis sueños al creer en mí cuando nadie más lo hacía. Por ver en mí una semilla que con paciencia, perseverancia y motivación vieron florecer, al darme las bases para crecer fuerte llena de convicciones e hicieron de mí una mejor persona y profesionista.

- A mi hermano

Por mostrarme que nunca he estado sola en mi camino, apoyándome en mis sueños en cada dificultad que he llegado a atravesar en mi vida y ofrecer su ayuda en cada uno de ellos, por darme la confianza para seguir creciendo, tanto personal como profesionalmente, dándome fortaleza para superarme a mí misma cada día, por creer en mí y quererme aun con mis defectos.

- A mi hijo

Mi gran motivación, porque gracias ti conocí el amor más hermoso y puro del mundo, agradezco al universo infinitas veces por tenerte en mi vida y mostrarme que existen cosas aún más grandes en este mundo, por ser paciente con mis decisiones y esperarme siempre con una sonrisa en tu rostro y mucho amor en tu corazón, gracias a ti he aprendido que se puede aprender cada día algo nuevo y que ese aprendizaje viene incluso de los envases más pequeños te amo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE	iii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
II.REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Producción ovina a nivel mundial	3
2.2 Producción ovina a nivel nacional.....	4
2.3 Producción ovina en la Comarca Lagunera.....	8
2.4 Factores que afectan la reproducción de los ovinos.	11
2.4.1 Estacionalidad	11
2.4.2 Fotoperiodo	13
2.4.3 Nutrición	14
2.5 Ciclo estral de la oveja.....	17
2.6 Protocolos de sincronización	19
2.6.1 Uso de progestágenos en la sincronización del estro.....	21
2.7 Interacción nutrición-reproducción.....	27
2.8. Acido ferúlico	30
2.9.1 Funciones.....	31
2.9.2 Farmacocinética.....	32
2.9.3 Efectos en el metabolismo	35
2.9.4 Efectos en la reproducción	37
2.9.5 Restricciones del uso	38
III. MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1. General	39
3.2 Lugar de estudio y condiciones climáticas.....	39
3.3 Animales experimentales y manejo.....	39

3.4	Diseño experimental.....	40
3.6	Análisis estadístico.....	42
IV.	RESULTADOS.....	44
VI.	CONCLUSIONES.....	49
VII.	REFERENCIAS.....	50

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Estados con mayor producción de ovinos en pie (producción, precio, valor y peso de ganado en pie)	7
Cuadro 2. Estados con mayor producción de carne ovina en canal (producción, precio, valor, animales sacrificados y peso de carne en canal pie)	7
Cuadro 3. Producción, precio, valor y peso de ganado ovino en pie en la Comarca Lagunera.	9
Cuadro 4. Producción, precio, valor, animales sacrificados y peso de canal ovina en la Comarca Lagunera	10
Cuadro 5. Determinación de celo en ovejas Dorper sin complementar y complementadas con ácido ferúlico.	44
Cuadro 6. Variables reproductivas en ovejas Dorper sin complementar y complementadas con ácido ferúlico.	45
Cuadro 7. Niveles de metabolitos sanguíneos en ovejas Dorper sin complementar y complementadas con ácido ferúlico	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Panorama Cárnico Nacional de producción ovina (Balance de mercado), TCCA: Tasa de crecimiento compuesta anual	8
Figura 2. Esquema del ciclo estral en la oveja	19

RESUMEN

Respuesta reproductiva y metabolitos sanguíneos de ovejas Dorper tratadas con ácido ferúlico durante el estro

Margarita de la Luz Cendejas Alatorre
Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Oscar Ángel García
Director de tesis

En México, la baja productividad de las granjas ovinas exige estrategias para mejorar la reproducción y eficiencia del rebaño; el uso de ácido ferúlico (AF) durante el empadre, junto con prostaglandina F_{2α} (PG) y gonadotropinas, se ha propuesto como alternativa para optimizar la respuesta reproductiva. El objetivo fue evaluar el efecto del AF sobre la conducta estral, el desarrollo embrionario, la respuesta reproductiva y los metabolitos séricos en ovejas sincronizadas con PG y eCG durante la época reproductiva. Se utilizaron 22 ovejas Dorper con peso de 54 ± 1.6 kg y condición corporal de 2.5 ± 0.1 puntos, sincronizadas con dos aplicaciones de PG (intervalo de 13 días) más 200 UI de hCG en la última dosis. El diseño fue completamente al azar con dos tratamientos: testigo (10 mL de agua destilada/animal, n=11) y grupo 2 AF (500 mg de AF/animal, n=11), administrados oralmente durante seis días posteriores a la sincronización. De acuerdo con los resultados, el AF no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) en el porcentaje de ovejas en estro, el intervalo ni la duración del mismo, así como tampoco en la tasa de preñez, fertilidad, prolificidad ni en los metabolitos séricos. En contraparte hay diferencias significativas en la tasa de ovulación ($P < 0.05$) y en el tamaño del cuerpo lúteo en cm. En conclusión, el ácido ferúlico no alteró los parámetros reproductivos ni metabólicos, pero incrementó la ovulación y redujo el tamaño del cuerpo lúteo, sugiriendo un posible efecto sobre la dinámica ovárica que merece mayor investigación.

Palabras clave: Fitoquímico, polifenol, antioxidante, ovulación, ovinos de pelo.

ABSTRACT

Reproductive response and blood metabolites of Dorper ewes treated with ferulic acid during estrus

Margarita de la Luz Cendejas Alatorre
Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Oscar Ángel García
Director de tesis

In Mexico, the low productivity of sheep farms demands strategies to improve reproduction and flock efficiency. The use of ferulic acid (FA) during mating, together with prostaglandin F_{2α} (PG) and gonadotropins, has been proposed as an alternative to optimize reproductive response. The objective was to evaluate the effect of FA on estrous behavior, embryonic development, reproductive performance, and serum metabolites in ewes synchronized with PG and eCG during the breeding season. A total of 22 Dorper ewes with an average body weight of 54 ± 1.6 kg and body condition score of 2.5 ± 0.1 were synchronized with two PG applications (13-day interval) plus 200 IU of hCG in the final dose. The experiment followed a completely randomized design with two treatments: control (10 mL distilled water/animal, n=11) and FA group (500 mg FA/animal, n=11), administered orally for six days after synchronization. According to the results, FA did not show significant differences ($P>0.05$) in the percentage of ewes in estrus, interval, or estrus duration, nor in pregnancy rate, fertility, prolificacy, or serum metabolites. Conversely, significant differences ($P<0.05$) were found in ovulation rate and corpus luteum size (cm). In conclusion, ferulic acid did not affect reproductive or metabolic parameters, but increased ovulation and reduced corpus luteum size, suggesting a possible effect on ovarian dynamics that warrants further research-

Keywords: Phytochemical, phenol, antioxidant, ovulation.

1. INTRODUCCIÓN

La cría de ovejas ha sido una de las labores ganaderas más antiguas y extendidas en todo el mundo, abasteciendo carne, lana, leche y pieles, convirtiéndose en una fuente de ganancias para la economía en naciones en desarrollo (FAO, 2022). En México, la mayoría de las granjas ovinas se caracterizan por presentar índices bajos de producción, teniéndose en cuenta que la reproducción es un factor vital para la rentabilidad y la sostenibilidad a corto y largo plazo, de aquí que haya la necesidad de implementar diferentes tipos de tratamientos hormonales dirigidos a mejorar el comportamiento reproductivo de las ovejas y la productividad del rebaño (Hernández-Marín *et al.*, 2017; Balan *et al.*, 2021).

Actualmente, hay una tendencia a reducir el uso de hormonas reproductivas sintéticas para manipular la actividad ovárica y el ciclo estral en los animales de interés zootécnico, incluyendo los ovinos. Esto obedece a la residualidad que estas hormonas tienen en los tejidos de los animales y en los productos derivados de ellos, los cuales al ser consumidos por la población causan alteraciones en el eje reproductivo de mujeres y hombres, comprometiendo el estado de salud y la fertilidad (Fierro *et al.*, 2013). Adicionalmente, se ha documentado que la aplicación continua de gonadotropina coriónica equina (eCG) en protocolos de sincronización de estro en ovejas, reduce la efectividad estimuladora del ovario de esta hormona, lo cual se asocia con la generación de anticuerpo (Roy *et al.*, 1999). Por consiguiente, hay una necesidad de buscar otros compuestos que puedan ayudar a manipular la actividad reproductiva de las ovejas solos o en combinación con hormonas sintéticas, particularmente que tengan la capacidad de estimular la actividad ovárica como la aplicación de eCG y hCG puede ser contraproducente productivamente en el mediano y largo plazo en los rebaños.

Los compuestos fitoquímicos polifenoles son de origen natural y han mostrado actuar positivamente en la reproducción de los animales, ya que poseen funciones como antioxidante, anti-inflamatorios, moduladores del metabolismo,

entre otros (Ananga *et al.*, 2017). La disminución del estrés oxidativo en las hembras contribuye a salvaguardar las células reproductivas y mantener un entorno interno más sano para el crecimiento de los folículos y posteriormente embriones (Tufarelli, 2017; Frías y Rosales, 2021; Tapia *et al.*, 2022). Particularmente, el polifenol ácido ferúlico (AF) ha demostrado actuar como bio-estimulante del ovario en ovejas (Macías-Cruz *et al.*, 2018), cerdas (Lee *et al.*, 2017) y modelos murinos (Moshfegh *et al.*, 2016). Esto se ha atribuido a su alta capacidad antioxidante, regulador del sistema insulina-glucosa, afinidad a receptores de estrógenos y estimulador de síntesis de estrógenos (Mbemya *et al.*, 2017; Tanihara *et al.*, 2018; Kiyama, 2019). Así, Macías-Cruz *et al.* (2018) encontraron que la suplementación de AF en el periodo pre-puberal estimuló la maduración de tracto reproductivo, la actividad folicular y formación de cuerpos lúteos (CL) en ovejas de pelo. Similarmente en ratas existen reportes del efecto positivo del AF en el desarrollo ovárico y foliculogénesis, así como en la cantidad circulante de hormonas esteroidales (Moshfegh *et al.*, 2016).

Basado en lo anterior, el AF parece ser un compuesto con gran capacidad para estimular la actividad folicular en el ovario de ovejas, pudiendo ser una alternativa de reemplazo total o parcial de la hormona hCG o eCG en los protocolos de sincronización de estro. Sin embargo, hasta el momento no se ha evaluado la administración de este fitoquímico como bio-estimulante ovárico en ovejas expuestas a un protocolo de sincronización de estro con progestágenos o prostaglandinas F2 α (PG). En este contexto se hipotetizó que la administración oral de AF libre durante el empadre a ovejas de pelo sincronizadas con PG y dosis bajas de eCG ayuda a mejorar la respuesta estral, el desarrollo embrionario y el comportamiento reproductivo por modificar el metabolismo de energía durante la época natural de reproducción. El objetivo fue evaluar el efecto de la administración oral de AF durante el empadre sobre la conducta estral, desarrollo embrionario, respuesta reproductiva y concentración sérica de metabolitos en ovejas Dorper sincronizadas con PG y eCG durante la época reproductiva.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción ovina a nivel mundial

El aumento en la producción de ovejas ha sido motivado por la demanda de carne en mercados globales, particularmente en Europa, América del Norte y Asia (FAO, 2022). A nivel mundial, se calcula que la cantidad de ovejas asciende a más de mil millones, los países como China, Australia, India, Irán y Sudán a la encabezan la producción, y entre los que destacan a China como el principal productor de carne de oveja a nivel global, representando alrededor del 25% de la población total de ovejas, logrando aumentar su producción a través de la innovación de sus prácticas y la mejora de sus sistemas intensivos para maximizar la productividad (FAO, 2022). El sector ovino a nivel global enfrenta varios desafíos que han impactado su expansión y viabilidad, uno de estos retos es el cambio climático, el cual ha perturbado de forma significativa los entornos donde se lleva a cabo la cría de ovejas, las variaciones en la lluvia y temperaturas externas influyen de manera considerable en la cantidad y calidad de los pastos afectando directamente la alimentación y el bienestar de los rebaños (IPCC, 2022).

Las condiciones desfavorables han obligado a los productores a implementar métodos más eficaces en la gestión productiva, como la utilización de suplementos alimenticios y una mejora en la selección genética, garantizando de esta manera la producción de ovejas incluso en situaciones climáticas adversas, como en áreas desfavorables como lo son África y Medio Oriente, donde la supervivencia de la población rural depende principalmente de la cría de ovejas (OCDE-FAO, 2022). Para mantener la sostenibilidad en la producción ovina, se han iniciado cambios en las prácticas, las cuales son cada vez más respetuosas con el medio ambiente, sin duda prácticas como el pastoreo regenerativo, técnicas que fomentan la biodiversidad y el uso eficiente de los recursos naturales, son iniciativas impulsadas por la creciente demanda de productos sostenibles y libres de crueldad animal por parte de los consumidores a nivel mundial (FAO, 2022). La cría de ovejas produce un impacto ambiental

significativamente menor en comparación con otras formas de ganadería, lo que la convierte en una alternativa más adecuada para cumplir con los objetivos globales de sostenibilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2022).

El aumento global de la industria ovina está condicionado por la habilidad de los productores para ajustarse a las demandas del mercado y los retos ambientales que enfrenten, la cooperación y el intercambio de conocimiento son fundamentales para garantizar una mayor productividad y la seguridad alimentaria. Estas propuestas son esenciales para asegurar la sostenibilidad de la producción ovina a corto y largo plazo, permitiendo que esta actividad continúe siendo una fuente de alimentos y recursos a nivel mundial (Balan *et al.* 2021).

2.2 Producción ovina a nivel nacional

La mayoría de la ovinocultura en México es desarrollada bajo una de tres modalidades: intensivo, semi-intensivo y extensivo. En la producción intensiva, los animales son mantenidos en instalaciones tecnificadas en corrales con sombra, comederos y bebederos, utilizando razas de alto rendimiento, insumos industriales, sistemas de sanidad, manejo de desechos, programas nutricionales, reproductivos etc (Martínez *et al.*, 2010; Haro *et al.*, 2019).

El método semi-intensivo, combina actividades agrícolas y cría de animales, estos son alimentados con pastizales cultivados en las tierras de los agricultores. Además de consumir desechos agrícolas como granos y rastrojos, los animales también ingieren alimentos preparados por sus propietarios y en menor medida concentrados industriales (Martínez *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2011; Haro *et al.*, 2019; Bobadilla *et al.*, 2021). En el sistema extensivo, los animales pastan libremente en agostaderos naturales durante el día y son protegidos por la noche. Su alimentación es basada en lo que comen mientras ramonean, siendo la inversión de dinero en alimentación, salud e infraestructura es mínima y la mano de obra usualmente pertenece a la familia (Martínez *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2011).

En los últimos años, se ha observado un aumento constante en la producción ovina, a pesar de no ser una de las principales actividades agropecuarias, sin embargo, esta se ha establecido como una alternativa rentable para productores pequeños y medianos, especialmente en estados como Hidalgo, Estado de México, Veracruz, Puebla y Coahuila, que representan más del 60% del total de ovejas en el país. Este aumento en tamaño ha llevado a que la cría de ovejas, antes considerada como una actividad secundaria, se convierta en un elemento fundamental dentro de la industria ganadera en México (SIAP, 2020).

En México, la mayoría de la carne de cordero proviene de ovinos criollos o cruzados, solo una minoría del rebaño consiste en razas puras. En los últimos 10 años, ha habido un promedio de producción de 59 mil toneladas en canal, con un consumo predominante en la modalidad de barbacoa. Durante el año 2019, el Estado de México y Hidalgo sobresalen por su aporte que equivale al 25% de la producción total a nivel nacional (SIAP, 2020). Según el SIAP (2022), México contribuye con el 1.0% de la producción mundial de carne de rumiantes.

El incremento notable de las producciones de este tipo ha sido evidente en los años recientes, contando actualmente con un total de 8.7 millones de cabezas de ganado (SIAP, 2020). Las mismas se hallan repartidas en las zonas Central (55%), Central-Norte (23%) y Sur (16%) del país. Las Unidades de Producción Ovina (UPO) están ubicadas en diferentes zonas y su progreso está influenciado por aspectos tales como la disponibilidad de recursos, las condiciones de mercado, la situación socioeconómica, el acceso a la tierra, la disponibilidad de insumos y la tecnología (Herrera *et al.*, 2022). El inventario nacional está distribuido en 50,000 explotaciones, de las cuales el 34% depende completamente de esta especie. En cuanto a la demanda, en México se han registrado anualmente un promedio de cien mil toneladas de carne de cordero, de las cuales el 61,6% proviene de producción local y un 38,4% está siendo importada. De esa cantidad total, el 95% se consume como barbacoa, principalmente en la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (Islas *et al.*, 2020). En cuanto a producción de peso de ganado ovino en pie actualmente su aproximado es de 132,328.709 miles de toneladas, cuya

producción nacional anual de carne en canal es de alrededor de 68,451.270 de toneladas de carne (SIAP, 2023).

En México el sistema pastoril tradicional es el encargado de proveer carne ovina a los mercados locales, sin embargo pese a los buenos precios de sus subproductos y derivados, esta actividad se ve obstaculizada por la falta de equidad competitiva por parte de productores internacionales cuyas políticas nacionales injustas descentralizan las actividades de desarrollo y promoción de los productores rurales con potencial competitivo, generando una demanda insatisfecha y limitando potenciales mercados sin explorar (Espejel *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2010; Díaz *et al.*, 2018).

Uno de los retos más importantes en la producción ovina en México es la falta de tecnificación de las unidades productivas ya que muchos productores dependen de un sistema extensivo de producción, criando a los animales en grandes áreas de pastoreo natural, limitando el aumento de la productividad siendo este sistema altamente vulnerable a variaciones climáticas especialmente en regiones semiáridas del Norte del país donde la disponibilidad de agua y forrajes es limitada (Cardona, 2019; Chávez *et al.*, 2022). Las razas de ovinos más comunes en el país incluyen a la Pelibuey, Katahdin y Dorper, las cuales son seleccionadas por su adaptabilidad a las diversas condiciones climáticas y su alta producción cárnica (Chávez *et al.*, 2022).

Los estados con mayor producción ovina son estados de México, Hidalgo, Veracruz, Jalisco, Zacatecas y Puebla (Cuadro 1 y 2). En Hidalgo es donde se produce principalmente barbacoa (platillo tradicional a base de carne ovina), el cual es uno de los motivos principales detrás de crecimiento de la industria ovina ya que el aumento en la demanda de barbacoa a nivel de nacional ha sido un factor determinante para la expansión de la ganadería ovina en varias regiones del país (Chávez *et al.*, 2022; INEGI, 2022, SIAP, 2023).

Cuadro 1. Estados con mayor producción de ovinos en pie (producción, precio, valor y peso de ganado en pie). (SIAP, 2023).

Estado	Producción (toneladas)	Precio (\$/ kg)	Valor de producción (miles \$)	Peso (kg)
México	18,139.969	48.71	883,509.088	42.104
Hidalgo	13,484.404	48.73	657,093.588	41.681
Veracruz	11,751.081	38.78	455,661.661	38.667
Jalisco	10,186.326	49.03	499,446.942	44.842
Zacatecas	8,660.802	40.71	352,588.297	39.721
Puebla	8,544.594	33.99	290,394.963	40.999

Cuadro 2. Estados con mayor producción de carne ovina en canal (producción, precio, valor, animales sacrificados y peso de carne en canal pie) (SIAP, 2023).

Estado	Producción (ton)	Precio (\$/kg)	Valor de Producción (miles \$)	Animales sacrificados (cabezas)	Peso (kg)
México	9,446.887	101.15	955,558.013	430,840	21.927
Hidalgo	6,852.720	101.97	698,793.649	323,515	21.182
Veracruz	6,029.753	81.76	492,967.801	303,907	19.841
Jalisco	5,200.137	100.74	523,861.921	227,161	22.892
Zacatecas	4,459.747	83.56	372,653.664	218,043	20.454
Puebla	4,516.379	73.75	333,093.789	208,411	21.671

En México, el consumo nacional de carne ovina constituye el 1% del total de la ingesta cárnica del país, la cual es estimada con una métrica individual de 500-1000 gramos al año por individuo (Figura 1; COMECARNE, 2023). Durante 2017 y 2021, el consumo experimentó un descenso significativo, sin embargo, para el 2022 se observó un cambio de tendencia con un aumento del 2.6%. En el mencionado periodo, la producción en cada año ha superado la del año anterior, con un promedio de aumento anual del 1.8% y un descenso del 27.2% en las

importaciones (COMECARNE, 2023). La producción de ovinos en México ha evolucionado con el tiempo hacia métodos que son respetuosos con la naturaleza, utilizando sistemas orgánicos que permiten obtener carne sin aditivos químicos, implementando prácticas como el pastoreo rotativo y la incorporación de alimentos orgánicos. Con el objetivo de reducir el efecto negativo sobre el medio ambiente, al tiempo que se mejora el rendimiento de los rebaños, fomentando un equilibrio ecológico y disminuyendo la necesidad de insumos no orgánicos, aportando un valor adicional a los productos (SADER, 2016).



Figura 1. Panorama Cárnico Nacional de producción ovina (Balance de mercado), TCCA: Tasa de crecimiento compuesta anual (COMECARNE, 2023).

2.3 Producción ovina en la Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera está compuesta de quince municipios de los estados de Coahuila y Durango, posicionándose como una región importante para la producción ovina en México, a pesar de las adversidades de sus condiciones climáticas semiáridas que caracterizan la zona (Cuadro 3; INEGI, 2022).

Cuadro 3. Producción, precio, valor y peso de ganado ovino en pie en la Comarca Lagunera (SIAP, 2023).

Estado/ Municipio	Producción (ton)	Precio (\$/kg)	Valor de Producción (miles \$)	Peso (kg)
Ganado en pie en los municipios del Estado de Coahuila				
Francisco I. Madero	31.528	36.80	1,160.216	47.625
Matamoros	2.153	35.94	77.372	43.060
San Pedro	67.718	37.71	2,553.320	48.095
Torreon	2.923	37.39	109.288	45.672
Viesca	26.669	35.61	949.766	47.708
Ganado en pie en los municipios del Estado de Durango				
General Simón Bolívar	28.966	37.78	1,094.323	48.196
Gómez Palacio	85.641	37.49	3,211.051	42.821
Lerdo	8.306	36.62	304.190	43.487
Mapimí	99.581	37.44	3,728.088	47.968
Nazas	3.136	36.51	114.499	42.959
Rodeo	27.239	37.56	1,023.176	47.126
San Juan de Guadalupe	6.249	37.51	234.418	46.634
San Luis del Cordero	3.128	36.54	114.298	46.000
San Pedro del Gallo	5.173	37.08	191.823	46.604
Tlahualilo	32.947	37.25	1,227.249	45.76

Los productores ovinos locales han encontrado formas innovadoras de adaptar sus técnicas de producción a este entorno, permitiéndoles aumentar la productividad y aprovechar la creciente demanda de carne ovina dentro del mercado regional (Cuadro 4). En la región lagunera, la producción ovina es una actividad que a pesar de no contar con el tamaño que tienen otras industrias, ha demostrado ser adaptable y beneficiosa para la economía rural local (INEGI, 2022).

Cuadro 4. Producción, precio, valor, animales sacrificados y peso de canal ovina en la Comarca Lagunera (SIAP, 2023).

Estado/ Municipio	Producción (ton)	Precio (\$ x kg)	Valor de Producción (miles \$)	Animales sacrificados (cabezas)	Peso (kg)
Carne en canal en los municipios del Estado de Coahuila					
Francisco I. Madero	16.801	73.20	1,229.820	662	25.379
Matamoros	1.080	74.49	80.451	50	21.600
San Pedro	35.456	76.34	2,706.824	1,408	25.182
Torreón	1.561	76.57	119.526	64	24.391
Viesca	14.043	73.81	1,036.563	559	25.122
Carne en canal en los municipios del Estado de Durango					
General	15.188	76.30	1,158.893	601	25.271
Simón Bolívar					
Gómez Palacio	42.992	77.59	3,335.922	2,000	21.496
Lerdo	4.047	76.40	309.210	191	21.188
Mapimí	51.632	76.70	3,960.421	2,076	24.871
Nazas	1.536	76.81	117.979	73	21.041
Rodeo	14.689	75.50	1,108.995	578	25.413
San Juan de Guadalupe	3.212	78.14	250.980	134	23.970
San Luis del Cordero	1.567	76.08	119.212	68	23.044
San Pedro del Gallo	2.658	77.54	206.094	111	23.946
Tlahualilo	17.043	75.70	1,290.211	720	23.671

Un factor que ha determinado el aumento en la productividad ovina en la Laguna ha sido la adopción de razas resistentes a condiciones adversas. Por ello, la incorporación de razas como Dorper y Pelibuey las cuales tienen una gran capacidad de adaptación a las condiciones áridas de la región siendo bastante populares en la Comarca Lagunera por su capacidad de soportar altas temperaturas y una gran eficiencia de conversión alimenticia, adaptándose bien a pasto secos y escasez de agua, a de más de ser conocidas por su crecimiento precoz permitiendo a los productores obtener altos rendimientos cárnicos en un período relativamente corto (Cardona, 2019; Chávez *et al.*, 2022).

El acceso limitado a ciertos recursos como agua y pastos de buena calidad es un desafío constante para los productores de ovinos, esto los impulsa a recurrir al uso de suplementos alimenticios y sistemas de riego, mitigando el impacto de la escasez de agua y asegurando que los rebaños mantengan su productividad a lo largo del año (Cañas, 2021).

2.4 Factores que afectan la reproducción de los ovinos.

2.4.1 Estacionalidad

La estacionalidad reproductiva es parte del proceso de selección natural, proceso que fue desarrollado por algunos mamíferos como una táctica para disminuir la influencia negativa del medio ambiente tal como temperaturas extremas, humedad y disponibilidad de comida, con el fin de aumentar el índice de supervivencia de las crías, de forma que los alumbramientos ocurren en la época más abundante del año cuyas temperaturas también son confortables para los recién nacidos (Arroyo, 2011). La mayoría de las especies de pequeños rumiantes, particularmente ovejas y cabras, presentan un patrón de reproducción estacional, provocando en las hembras ciclos reproductivos específicos en ciertos períodos del año y promoviendo una fase de anestro en otros, mientras que los machos ajustan su actividad reproductiva de manera sincronizada con las hembras (Ungerfeld, 2016).

En la reproducción ovina se presentan dos etapas fisiológicas determinadas, la fase de anestro estacional marcado por los días largos, con ausencia parcial o completa de ciclos estrales, receptividad sexual y anovulación; la actividad reproductiva del macho también se ve afectada con el cese de espermatogénesis y libido, la segunda fase fisiológica es bien conocida como la época reproductiva o de receptividad sexual, en la cual se reestablece la periodicidad estral, conducta de estro y ovulación en la hembra; en el macho se promueve la espermatogénesis y el aumento del apetito sexual (Arroyo, 2011).

El origen de una raza influye en el comportamiento estacional; es así como, las razas nativas de regiones con latitudes altas (más de 35 grados) muestran una clara estacionalidad reproductiva, mientras que ovinos provenientes de áreas mediterráneas o ecuatoriales presentan una estacionalidad menor o, en algunos casos, nula (Arroyo, 2011). En las regiones templadas, las ovejas son poliéstricas estacionales, garantizando los nacimientos durante la primavera, asegurando así el abastecimiento de alimento durante esta temporada. Esta estacionalidad está regida por el fotoperiodo (Atuesta y Diaza, 2011; Alvarado *et al.*, 2022). En la mayoría de las razas ovinas la actividad reproductiva ocurre durante los meses de otoño-invierno, cuando los días son más cortos, influenciándose de esta manera el comportamiento reproductivo, ya que la variación en la duración de horas luz a lo largo del día, promueve la liberación de la hormona melatonina en respuesta a la disminución de las horas luz, alineándose los procesos fisiológicos, ya que esta desempeña un papel crucial al actuar sobre el eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, promoviendo la secreción de gonadotropinas que estimulan la ovulación (Ungerfeld, 2016; Hafez y Hafez, 2013). Esta condición restringe los meses en los que estos animales pueden aparearse, y, por lo tanto, limita la disponibilidad de corderos (Ungerfeld, 2016). Aun así, existen razas tropicales que no presentan una dependencia marcada al fotoperiodo, permitiéndoles una mayor flexibilidad reproductiva durante el año.

2.4.2 Fotoperiodo

La estacionalidad reproductiva en animales fotoperiódicos, como las ovejas, condujo al desarrollo de mecanismos especializados en la detección de señales ambientales que permiten determinar el momento óptimo para la reproducción (Arroyo, 2011). Las horas luz, sincroniza el ciclo reproductivo anual de la oveja, siendo esta señal fótica la que se traduce utilizando una compleja red neural a nivel central y transforman la señal luminosa en una señal hormonal, a través de vías multisinápticas desde el núcleo supraquiasmático, que inerva la glándula pineal y suprime la secreción de melatonina durante el día (Wyse *et al.*, 2018; Arroyo, 2011). A través de la síntesis y secreción de melatonina, la luz es captada en el ojo, a través de la retina, la señal luminosa se transforma en una señal eléctrica que es conducida de la retina al hipotálamo por medio del tracto retino hipotalámico; en el hipotálamo, el núcleo supraquiasmático capta la señal y posteriormente se transfiere al núcleo paraventricular de esta manera, la hormona se sintetiza en los pinealocitos de la glándula pineal durante las horas de oscuridad (Wyse *et al.*, 2018; Arroyo, 2011).

La menor duración en la secreción de melatonina durante los días largos permite la síntesis de dopamina e induce el anestro estacional. Durante los días cortos, la mayor duración en la síntesis y secreción de melatonina inhibe la producción de dopamina, con el subsecuente restablecimiento de la actividad estral y la ovulación (Arroyo, 2011). El patrón circadiano de secreción de melatonina proporciona una señal temporal estacional que sirve para regular los cambios anuales en la fisiología y el comportamiento de los animales fotoperiódicos (Wyse *et al.*, 2018).

En México, las ovejas criollas de lana y las ovejas de Pelo muestran un corto anestro estacional. Cuando se presenta el anestro estacional, este ocurre entre marzo y junio, las ovejas de Pelo responden a los cambios anuales en la duración del fotoperiodo (González *et al.*, 2020). En las hembras de razas de pelo existen ciertas diferencias encontradas acerca de su comportamiento reproductivo anual, en este caso encontramos la ausencia de un anestro estacional marcado por las

horas luz, significando que estas no solo están sujetas al fotoperiodo sino que además responden a efectos estacionales sobre la disponibilidad del forraje, existe evidencia indirecta, que indica que no es el fotoperiodo, el factor causante de esa estacionalidad; es muy posible que factores como la nutrición y manejo, sean los responsables de esa estacionalidad (González *et al.*, 2020; Arroyo, 2011).

2.4.3 Nutrición

Los pequeños rumiantes, particularmente las ovejas, son una base esencial para la agricultura en zonas rurales de climas tropicales, áridos y semiáridos, debido a rasgos distintivos que les permiten transformar desechos de cosechas y forrajes de baja calidad en productos valiosos como carne, lana, leche y piel, que son de gran relevancia económica para los productores, además esta especie es capaz de soportar condiciones climáticas extremas y falta de alimento mediante el uso eficaz de sus reservas corporales (Maurya *et al.*, 2017). La observación de la condición corporal del rebaño es un indicativo del estado nutricional general, en las diferentes fases de producción, mediante el cual los productores pueden decidir sobre la gestión general, así como el momento y la manera más adecuada de proporcionar los nutrimentos adecuados al rebaño, a fin de lograr un objetivo productivo de forma económica y efectiva (Maurya *et al.*, 2017).

Con la regulación adecuada de ingesta de materia seca, energía y proteínas se busca asegurar una buena nutrición en el rebaño, lo cual facilita la óptima producción y la corrección de posibles desequilibrios nutricionales que puedan perjudicar a los animales (Rodríguez y Ortiz, 2020). Cuando hablamos de las necesidades nutritivas o requerimientos nutricionales de los ovinos se hace referencia a la cantidad diaria necesaria de agua, energía, proteínas, minerales y vitaminas en el alimento, para sostener un crecimiento, producción y reproducción apropiados, sin embargo, estas demandas varían según el sistema de producción, el estado fisiológico (empadre, lactancia, fases de gestación, mantenimiento, sexo, edad y peso vivo) de cada animal (Romero y Bravo, 2012).

La deficiencia de cualquier nutriente en la alimentación puede generar un impacto negativo en la actividad reproductiva, en este sentido se entiende que la disponibilidad de nutrientes en la dieta funciona como un "factor directo" en la producción y reproducción, mientras que la cantidad y la calidad de los alimentos disponibles a lo largo del año pueden influir para sincronización potencial del ciclo reproductivo anual (Romero y Bravo, 2012). El conocimiento de los requerimientos nutricionales ovinos, nos ayuda a generar dietas adecuada para las diferentes etapas de desarrollo, basándose en las necesidades y requerimientos específicos según sea el caso, en ovejas adultas este método de manejo durante periodos breves (10-14 días) antes de la época de celo ayuda a mejorar la ganancia de peso a medida que este se aproxima y la adición de cualquier componente a la dieta posterior al celo promueve el mantenimiento de la condición después de la implantación, siendo su principal objetivo el aumento de la concepción y partos, por lo tanto una suplementación en ovinos es un método de manejo rentable que puede llegar a ser utilizados (Purushotam, 2022).

La suplementación alimenticia en ovejas próximas a entrar en celo, cuya condición corporal es moderadamente baja, mejora significativamente la tasa ovulatoria y partos múltiples, se cree que la alimentación adicional aumenta la supervivencia de los ovulos y su posterior ovulación, sin embargo también es necesario evitar excedentes de nutrimentos durante la estación reproductiva, el flushing energético en la dieta de hembras cuya condición corporal lo requiera, tiene una tasa de ovulación considerablemente mayor en comparación a animales que no reciben este plus alimenticio (Purushotam, 2022). La nutrición está directamente relacionada con la fertilidad, tasa de ovulación, establecimiento y mantenimiento de la gestación, por ello la aplicación de un flushing en hembras reproductoras nos ayuda a alcanzar niveles óptimos de energía y proteína. Se ha demostrado que hay dos momentos óptimos de la administración de estos tratamientos nutricionales, antes de la cubrición para conseguir una regularidad en los ciclos, el primero es durante el periodo de cubriciones (empadre) mejorando la ovulación y el segundo posterior a este, favorece el mantenimiento de la gestación y partos dobles (Freitas *et al.*, 2018; Purushotam, 2022). Las

restricciones alimenticias durante la gestación tienen un efecto negativo en el comportamiento materno, menguando el vínculo materno-afectivo luego del parto, disminuyendo la producción de calostro y leche. Todos estos factores aumentan las probabilidades de muerte de los corderos, conduciendo a pérdidas productivas y económicas (Freitas *et al.*, 2018)

Una alimentación adecuada es esencial para evitar la pérdida de condición corporal o problemas durante el parto, en hembras una alimentación deficiente puede provocar ciclos irregulares, disminución de la ovulación, crías débiles, toxemia de la preñez o menor cantidad de gestaciones gemelares, la fertilidad es determinada por una influencia multi-hormonal que incluye no solo hormonas sexuales y gonadotrópicas, sino además a las hormonas metabólicas, un mal funcionamiento de cualquiera de los componentes de este complejo hormonal tiene un impacto directo sobre la reproducción (Abadjieva *et al.*, 2011). Estudios científicos demuestran una estrecha dependencia de la reproducción con las fuentes de energía y estado metabólico, así como sus vías de señalización, considerándose a ambos factores necesarios para una buena fertilidad, siendo crucial la cantidad de alimento proporcionado en la dieta de las ovejas antes de la concepción, diversos experimentos han mostrado que si una oveja recibe una cantidad sustancial de nutrientes en este momento es probable que la cantidad de maduración folicular y ovulación sea mayor de lo habitual, aumentando con ello el porcentaje de partos dobles (Koycegiz *et al.*, 2009; Purushotam, 2022). Es de suma importancia prestar especial atención a los diferentes nutrientes que conforman la dieta de las ovejas, diversos investigadores han observado efectos absolutos sobre el índice de condición corporal, peso vivo y su efecto en la eficiencia reproductiva de las hembras, señalando que cualquier variación en estas se ve reflejada en la interacción de las condiciones nutricionales y fisiológicas teniendo un impacto directo en la eficiencia reproductiva (Gunn, 1983; Koycegiz *et al.*, 2009; Purushotam, 2022).

2.5 Ciclo estral de la oveja

El ciclo estral es definido como el lapso entre la aparición de un estro fisiológico y la presentación del siguiente, siendo este evento un elemento crucial en la fertilidad (Alvarado *et al.*, 2019). Este evento se caracteriza por presentarse de manera rítmica, teniendo una duración de 17 días en promedio, siendo más corto en corderas (16 d) que en ovejas adultas (Bartlewski *et al.*, 2017). Este ciclo normalmente se divide en dos fases: la fase folicular que dura de 2 a 3 días y fase luteal que tiene una duración de 12 a 14 d. La fase folicular es el periodo que implica la foliculogénesis y receptividad al macho hasta la ovulación (Alhamada *et al.*, 2017).

El proestro, previo al estro conductual, comienza dos días antes, caracterizándose por una disminución en las concentraciones de progesterona (P4) y aumento en concentración de estrógenos (E2). El incremento de esta hormona en la circulación induce el pico preovulatorio de la hormona luteinizante (LH), causado por el constante y frecuente incremento de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), lo cual genera la regresión lútea del ciclo anterior y el surgimiento de un nuevo folículo ovulatorio para comenzar un nuevo ciclo estral (Alhamada *et al.*, 2017; Bartlewski *et al.*, 2017). Durante el estro la hormona dominante es el estradiol, situándose como la principal responsable de los cambios de conductuales que conllevan a la receptividad sexual y apareamiento, siendo un proceso esporádico que no requiere coito, ocurriendo entre las 24 a 36 horas después del inicio del estro conductual (Alhamada *et al.*, 2017).

La prostaglandina es crucial en la regulación del ciclo estral y es el esteroide ovárico más significativo durante la vida productiva de la oveja (Stouffer y Hennebold, 2017). La aparición de concentraciones elevadas de P4 disminuye los pulsos de GnRH a nivel hipotalámico. En la etapa folicular, comienza una reducción en los niveles de P4, destacada por el incremento de las gonadotropinas y la liberación de estrógenos (Stouffer y Hennebold, 2017; Grazul *et al.*, 2020). La manifestación del estro se ve afectada por factores como el entorno, la alimentación, las relaciones sociales, el estrés, la genética y los

niveles de P4 (Moonmanee y Yammuen, 2015; Narayan y Parisella, 2017). El metaestro y el diestro son llamados en conjunto fase lútea, durante el metaestro los remanentes del folículo ovulado se convierten en una glándula endocrina llamada cuerpo lúteo (CL) que se considera como una glándula temporal que produce P4, este cambio tiene una duración promedio de dos días (Kraisoon *et al.*, 2018).

El ciclo de estral de la hembra ovina depende del útero; por lo tanto, la exposición del endometrio a la progesterona durante el diestro no solo prepara al útero para la implantación del embrión (Dorniak *et al.*, 2013), sino que también activa el mecanismo para la producción de PG luteolítica en el endometrio en caso de la fecundación no se establezca (Dorniak *et al.*, 2013; O'Connell *et al.*, 2013). La PGF2 α comienza la luteólisis funcional que implica la incapacidad de producir P4, seguida por la luteólisis estructural que finaliza con la involución del CL (O'Connell *et al.*, 2013). Cuando no ocurre fertilización, los niveles de progesterona disminuyen rápidamente, lo que desencadena el inicio de un nuevo ciclo estral. Este equilibrio hormonal es delicado y cualquier interrupción en los niveles de progesterona puede resultar en infertilidad, fallos gestacionales o abortos. Por ello, es vital que los productores mantengan un control adecuado de la sanidad y el estado corporal de las ovejas para asegurar ciclos reproductivos normales (Herrera *et al.*, 2008; Hafez y Hafez, 2013).

El conocimiento de los mecanismos que implican el inicio de la actividad reproductiva permite la planificación de esta misma, sin tener que controlar la estacionalidad, facilitando la disposición de carne, leche y productos derivados de los animales, durante todo el año, por ello el uso de tratamientos hormonales que controlan el ciclo reproductivo de los ovinos permite adaptar la producción de acuerdo con las necesidades del consumo (Hajibemani *et al.*, 2022; Marín *et al.*, 2023). Con la aplicación de estos tratamientos se puede inducir ciclos ovulatorios fuera de una época reproductiva, sincronizar las ovulaciones y agrupar los partos, facilitando el uso de técnicas como la inseminación artificial, estos de control del ciclo estral pueden ser farmacológicos, hormonales o naturales utilizando únicamente el manejo, en todos estos casos se trata de

manipular la fisiología reproductiva de las hembras para que estas ovulen cuando sea conveniente para la producción (Ramírez *et al.*, 2021).

El eje hipotálamo hipófisis ovario determina la actividad ovárica en las hembras, por lo tanto, su actividad reproductiva lo que conlleva a cambios morfológicos y fisiológicos tanto en el tracto reproductivo como en ovario desencadenando la expresión del celo, ovulación, posible fecundación e implantación del embrión (Figura 2; Ramírez *et al.*, 2021; Hajibemani *et al.*, 2022; Marín *et al.*, 2023). Una base fundamental el funcionamiento adecuado de los tratamientos de control del ciclo estral, independientemente hablando de un tratamiento hormonal o natural, es el estado nutricional en el que se encuentre la hembra ya que de esto depende la respuesta del eje hipotálamo-hipófisis-ovario, el flushing no consiste en un tratamiento hormonal, sino que promueve una respuesta efectiva al ser aplicado a la par tratamientos hormonales, dando un aporte extra de nutrientes y energía al animal a fin de mantener o promover una buena condición corporal (3 a 3.5) (Marín *et al.*, 2023).

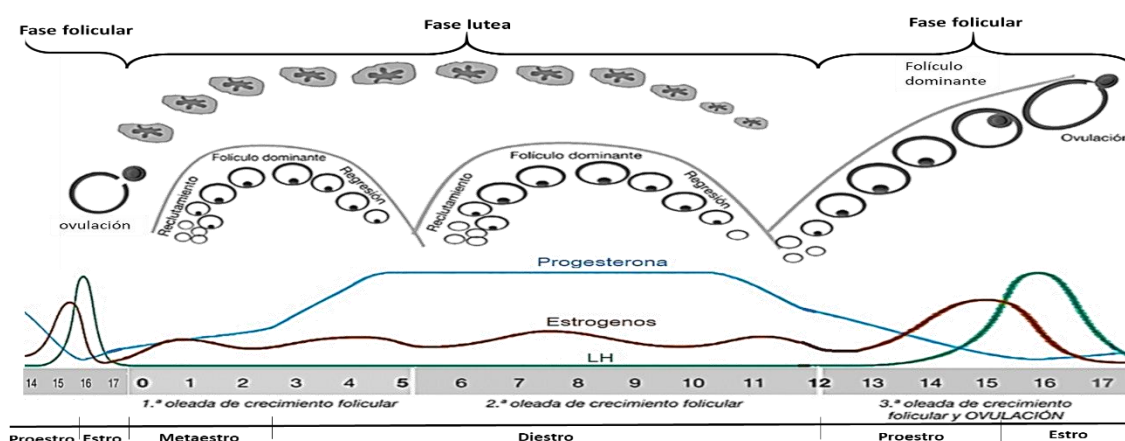


Figura 2. Esquema del ciclo estral en la oveja. Modificado de Marín *et al.*, (2016); Ceva Salud Animal (2022). <https://ruminants.ceva.pro/es/asesoramiento-reproductivo-ovejas>

2.6 Protocolos de sincronización

La sincronización estral es un recurso frecuentemente empleado en los sistemas de producción animal, que implica la aplicación de métodos farmacológicos que

fomentan la reproducción durante la estación reproductiva o anestro estacional (López, 2020). Estos procedimientos se aplican para uniformizar grupos de hembras, lo que simplifica su gestión durante las apariciones, dado que estas ocurren en las condiciones esperadas, temperatura ambiente apropiada, disponibilidad de alimento y oferta-demanda del producto (Arbúes *et al.*, 2018). En los tratamientos hormonales, los métodos farmacológicos se distinguen principalmente por su eficacia en comparación con los métodos naturales, no obstante, uno de los inconvenientes de su aplicación es el precio del producto y el peligro que conlleva el uso irresponsable del medicamento (Abecia *et al.*, 2012). Por lo general, en el manejo de sincronización en ovinos se utilizan dispositivos liberadores P4 en conjunto con la aplicación de eCG, logrando al momento del retiro del dispositivo una tasa de preñez adecuada (Menchaca *et al.*, 2017).

En México, la mayoría de las granjas ovinas se caracterizan por presentar índices reproductivos bajos asociados a una baja producción, siendo la reproducción un factor vital para la rentabilidad y sostenibilidad a corto mediano y largo plazo, dando lugar a la necesidad de desarrollar diferentes tipos de tratamientos hormonales dirigidos a regular la actividad reproductiva, reduciendo las dosis hormonales, el periodo de uso además de contribuir al bienestar ambiental y preservar una eficiencia reproductiva aceptable (Balan *et al.*, 2021; Hernández *et al.*, 2017). La explotación de ovinos requiere la implementación de técnicas vinculadas al control reproductivo, tales como la inseminación artificial y la aplicación de protocolos hormonales, con el objetivo de agrupar los nacimientos y lograr lotes uniformes de corderos, para garantizar un cuidado y gestión apropiados para el futuro del hato (Caiza *et al.*, 2024). Las ovejas tienen una reproducción natural en ciertos periodos del año; sin embargo, cuando se provocan el estro y la ovulación, estas hembras pueden ser inseminadas o cubiertas en cualquier momento siempre que conserven una buena salud, estén libres de parásitos y mantengan un buen estado corporal (Cordova *et al.*, 2008).

Los procedimientos de regulación artificial del ciclo estral se fundamentan en el entendimiento de la acción hormonal de este, por esta razón, se han creado

eficazmente análogos hormonales con efectos biológicos más potentes de los que poseerían de forma natural, en ovinos, el avance de estos procedimientos posibilita el manejo eficaz del estro y la ovulación, lo que permite establecer el momento ideal para la inseminación artificial, el empadre y la parición, estableciendo programas adecuados para el mejoramiento genético (Yupanqui, 2019).

El control del ciclo estral a través de la sincronización hormonal permite a los productores superar las limitaciones estacionales de la reproducción ovina, estos protocolos de sincronización se basan mayormente en el uso de progestágenos o melatonina, permitiendo que las ovejas ovulen de manera controlada en un período de tiempo específico, particularmente útil en sistemas de producción intensiva, al combinar sincronización hormonal con la inseminación artificial, demostrando mejorar significativamente la concepción, optimizando el rendimiento reproductivo en los rebaños ovinos (Abecia *et al.*, 2011).

2.6.1 Uso de progestágenos en la sincronización del estro

Los métodos de sincronización estral más empleados en ovejas se basan en la administración de progesterona o sustitutos de esta (Abecia *et al.*, 2012). Algunos investigadores mencionan que el uso de esponjas u dispositivos intravaginales (CIDR) los cuales regulan la liberación lenta de hormonas como la progesterona, puede ser usado en ovejas durante un periodo de 12 a 14 días a fin de imitar la fase lútea normal de una oveja, para que a su posterior retiro este ocasiona la expresión de estro (Quintero *et al.*, 2011; Martínez *et al.*, 2019).

El dispositivo interfiere en la generación de GnRH y, en consecuencia, impide la liberación de gonadotropinas, especialmente la LH. Una vez retirado el dispositivo, se suministra una inyección eCG o gonadotropina coriónica humana (hCG), que tiene como objetivo potenciar la ovulación (Quintero *et al.*, 2011; Martínez *et al.*, 2019). Se han realizado múltiples investigaciones con CIDR reutilizado (Silva *et al.*, 2014) empleando protocolos breves de 6 días, reutilizando CIDR hasta tres veces en ovejas, consiguiendo una respuesta positiva al estro

(Swelum *et al.*, 2018). Los descubrimientos indican que el costo del CIDR se reduce al ser reutilizado en protocolos amplios (Swelum *et al.*, 2019), lo cual también reduce la contaminación ambiental debido a la disminución de hormonas residuales en el dispositivo (González *et al.*, 2020). Las características de estos dispositivos permiten su limpieza, desinfección y reutilización sin causar impactos significativos en los parámetros reproductivos de los ovinos (Swelum *et al.*, 2018).

En este contexto, la sincronización de estros con progestágenos a través de esponjas o aparatos intravaginales, se vinculan a sistemas de inseminación artificial o monta controlada, presentándose como un recurso que potencia la eficiencia reproductiva y productiva de los rebaños. Se ha informado que los protocolos prolongados (12 a 14 días) con progesterona y sus análogos sintéticos influyen de diversas maneras en los niveles circulantes de progesterona, provocando una persistencia extendida y el envejecimiento de los folículos (Balan *et al.*, 2021).

Información reciente sobre la fisiología de los ovarios apoya la noción de reducir el tiempo habitual de exposición a la progesterona, cambiando el uso de dispositivos intravaginales de 14 días a un intervalo de 5 a 7 días (esquemas de corto plazo). Estos esquemas aseguran que las concentraciones de progesterona sean suficientes para activar el recambio de los folículos y provocar la ovulación de folículos no persistentes, siendo necesaria al momento del retiro del dispositivo la aplicación de una dosis intramuscular de PGF2 α junto con la administración de eCG; logrando producirse una ovulación aproximadamente 60 horas después, y la inseminación artificial o monta se puede realizar a las 48 o 54 horas respectivamente (Menchaca *et al.*, 2017).

Se sabe que los protocolos a corto plazo a base de progesterona fomentan el recambio folicular, con la emergencia de una nueva onda folicular en la mayoría de las ovejas, disminuyendo la exposición del folículo preovulatorio a niveles bajos de progesterona durante periodos extensos, lo que promueve la ovulación de un folículo más joven y un ovocito de mejor calidad para ser fecundado (Balan *et al.*, 2021; Menchaca *et al.*, 2017). En la actualidad existe un gran número de

fármacos utilizados en el desarrollo de protocolos de sincronización, los cuales reducen los días de tratamiento, todo ello con la finalidad de mejorar los parámetros reproductivos y acortar el tiempo de manejo (Balan *et al.*, 2021). A escala nacional, se ha notado una implementación limitada de estas herramientas farmacológicas, ya que uno de los principales obstáculos es la disponibilidad y el precio de medicamentos adecuados. (Gonzales *et al.*, 2017). El precio de estos tratamientos hormonales y aparatos de sincronización puede ser significativo, restringiendo su aplicación en sistemas de producción de pequeña magnitud, no obstante, en explotaciones correctamente gestionadas, los beneficios derivados del aumento reproductivo y la mejora de la productividad compensan los gastos iniciales (Gonzales *et al.*, 2017).

2.6.2. Uso de las gonadotropinas en protocolos de sincronización

La incorporación de gonadotropinas ha sido una parte fundamental de los protocolos de sincronización por su visible mejoría en las manifestaciones preovulatorias, siendo utilizadas comúnmente para el incremento de la eficiencia en la respuesta estral al utilizar estos protocolos en pequeños rumiantes (López *et al.*, 2021).

2.6.3 Uso de la gonadotropina coriónica humana

El uso reciente de hCG tiene como objetivo potenciar la función lútea y fomentar la luteinización de folículos en desarrollo para la generación de cuerpos lúteos accesorios, esto incrementaría los niveles de progesterona en el plasma (esencial para mantener la gestación), lo cual favorecería el desarrollo del concepto en el útero (Khan *et al.*, 2009). El uso de la hCG en los tratamientos hormonales eleva la producción de progesterona en el día 12 después del servicio, lo cual previene la lisis del cuerpo lúteo y disminuye las secreciones de PG mejorando con ello los niveles de gestación (Khan *et al.*, 2009; Aréchiga *et al.*, 2019). La función lútea al comienzo de la gestación es notablemente mayor en ovejas que reciben hCG, ya que promueve el crecimiento del cuerpo lúteo,

elevando significativamente las concentraciones de progesterona en el plasma. El uso de hCG potencia la eficiencia reproductiva al incrementar la tasa de gestación y la fertilidad en ovejas de pelo (Quintero *et al.*, 2015).

La aplicación de hCG en conjunto con otros tratamientos hormonales tiene un impacto significativo en el mejoramiento de fertilización y gestación en ovejas. El uso frecuente de hCG en programas de inseminación artificial (IA) y transferencia de embriones facilita una sincronización más efectiva, mejorando la eficiencia reproductiva en los rebaños, promoviendo la creación del cuerpo lúteo después de la ovulación, aspecto vital para el mantenimiento precoz de la gestación, garantizando que las ovejas posean un alto índice del mantenimiento de la gestación tras la inseminación o la monta (Abecia *et al.*, 2012).

2.6.4 Uso de la gonadotropina coriónica equina

El útero equino secreta esta gonadotrofina placentaria para el mantenimiento de la gestación, sin embargo, al ser empleada en especies diferentes a la yegua, tiene efecto luteinizante y folículo estimulante, aumentando la ocurrencia y velocidad de la ovulación, favoreciendo que éstas se produzcan en un intervalo de tiempo más corto (Martemucci y Alessandro, 2010; Quintero *et al.*, 2011; Arbués *et al.*, 2018). Se ha identificado a la eCG como un promotor de celos, distribución y sincronización de estos en periodos de tiempo determinadamente cortos, incrementando la tasa ovulatoria y fertilidad, reportándose que la presentación de celo y el grado de fertilidad varía ampliamente en relación con la dosis administrada de eCG (López *et al.*, 2021).

Las dosis para emplear varían dependiendo de la edad del animal, de la temporada reproductiva y de la raza. La eCG debe administrarse con precaución ya que provoca el aumento de la tasa de ovulación (Abecia *et al.*, 2011). Las menores dosis son usadas en razas prolíficas puesto que su aplicación incrementa la ocurrencia de partos gemelares y esto demanda un mayor requerimiento metabólico de la oveja, así como un buen desarrollo de su habilidad materna (Silva, 2012; Arbués *et al.*, 2018). Teniendo en cuenta la

premisa de encontrar dosis adecuadas de eCG, esta es usada en sinergia a protocolos de sincronización estral que utilizan progestágenos buscando maximizar la respuesta reproductiva de estos mismos mejorando la sincronización de celo (López *et al.*, 2021). Se ha sugerido que la dosis de 300 UI de eCG se debe emplear cuando la finalidad del tratamiento sea sincronizar la presencia del estro y mejorar la fertilidad, llegando a la conclusión que dosis de 200 a 300 UI de eCG permiten obtener porcentajes de hembras en celo superiores al 67%, con un nivel manejable de gestaciones dobles, según se vaya a realizar servicio natural o inseminación artificial, se debe tener en cuenta que las dosis de 300 UI adelanta la presentación del celo (Arbués *et al.*, 2018).

2.6.5 Uso de prostaglandina en la sincronización

Varios investigadores han evidenciado que reducir el tiempo de exposición a progestágenos, mediante el uso de protocolos de sincronización de corto tiempo, produce resultados aceptables en la inducción y sincronización de estros en ovejas durante las temporadas de reproducción (Martínez *et al.*, 2015; Ávila *et al.*, 2019). No obstante, se prefiere el uso exclusivo de PG, ya que son rápidamente metabolizadas en el organismo y, por ende, no se acumulan en los tejidos (Abecia *et al.*, 2012), presentando beneficios prácticos como su aplicación sencilla, costo reducido y menor contaminación, en comparación con dispositivos intravaginales impregnados con progestágenos (Fierro *et al.*, 2013; Ávila *et al.*, 2019).

Es importante destacar que las PG aplicada de forma individual en única dosis, no proporcionan una sincronía adecuada de estro en las ovejas (Fierro *et al.*, 2017). Por lo tanto, una opción para potenciar el nivel de sincronía de estro y fertilidad proporcionada por PG ha sido la combinación de esta con el uso de la GnRH, aplicándola al comienzo del tratamiento para eliminar folículos grandes. Se ha registrado que GnRH puede utilizarse para regular la función de las células foliculares y lúteas, además de mejorar la exactitud del estro y la sincronización

de la ovulación en ovejas durante el periodo reproductivo (Hashem *et al.*, 2015; Ávila *et al.*, 2019).

Se ha observado durante la época no reproductiva de pequeños rumiantes que la aplicación de dos dosis de PG con un intervalo de 9 días, y la aplicación de eCG en la segunda dosis de PG, permite aumentar la proporción de gestación hasta en un 100 %, sin embargo, la respuesta a estro ha llegado a ser reducida (30 %; Ávila *et al.*, 2019). La PG ejerce una acción efectiva sobre los receptores de ovulación del cuerpo lúteo maduro, una aplicación de esta hormona realizada durante la fase lútea temprana, que corresponde al periodo de desarrollo del folículo dominante durante la primera onda folicular del ciclo, provoca un intervalo constante de sincronización a partir de la conclusión del tratamiento (Fierro *et al.*, 2017). La aplicación de dos dosis de PGF2 α con periodos de separación de 10, 12, 14 o 16 días da como resultado diversas duraciones de la fase lútea y niveles de P4 antes del servicio, relacionándose de manera positiva con la generación de estradiol por los folículos que están a punto de ovular, lo que resulta en elevadas tasas de gestación tras la inseminación artificial con semen fresco posterior a la detección de celo (Fierro *et al.*, 2016; Fierro *et al.*, 2017).

Al aplicar un protocolo de 7 días entre las dos administraciones de PG, se observa una notable sincronización entre el estro y ovulación, vinculándose a los intervalos cortos con una mayor respuesta estral y una mejor sincronización, lo cual es fundamental para los esquemas de inseminación artificial transovárica (IAT) (Fierro *et al.*, 2016). El efecto de esta hormona sobre la tasa de ovulación y la prolificidad es controvertido, con informes que muestran ausencia de cambios, una disminución y un aumento en la tasa de ovulación, hallazgos en algunos estudios sugieren que el uso de protocolos basados en PG para la sincronización de celos e IAT es una alternativa viable para el manejo reproductivo del rebaño durante la época de parto. Esto sugiere que el intervalo más corto entre inyecciones de PGF2 α sea de 12 días, periodo de duración mínima de la fase lútea del ciclo estral, necesaria para obtener resultados reproductivos aceptables (Fierro *et al.*, 2017).

La influencia de esta hormona en la ovulación y la fecundidad es objeto de debate, existiendo investigaciones que indican ausencia de variaciones, así como reducción o un incremento en la ovulación. Resultados de ciertos estudios proponen que los protocolos que utilizan PG para la sincronización de celos y la IAT, representan una opción efectiva para la gestión reproductiva del rebaño en la temporada de partos, sugiriendo que el intervalo mínimo entre las inyecciones de PG debería ser de 12 días, que es la duración mínima de la fase lútea del ciclo estral necesaria para alcanzar resultados reproductivos satisfactorios (Fierro *et al.*, 2017). Algunos autores señalan que bajas concentraciones de PG aunando a un intervalo corto entre aplicaciones de progesterona durante la fase lútea del ciclo estral, es fácilmente asociado con una función esteroidogénica alterada de los folículos preovulatorios, lo cual afecta el desarrollo y el transporte de ovocitos (Fierro *et al.*, 2016; Fierro *et al.*, 2017).

2.7 Interacción nutrición-reproducción

En cualquier especie incluyendo los ovinos, la reproducción es demandante en nutrientes, de aquí que se considere que el estado nutricional es un importante modulador para ésta actividad, estudios recientes indican que la suplementación compuestos vegetales, puede ser utilizada para modificar algunos procesos fisiológicos ováricos en ovejas, independientemente del consumo de energía y de las variaciones de peso, buscando un efecto positivo en los procesos reproductivos, siendo posible implementar esta técnica en esquemas aún más demandantes, como son la superovulación (Cabrera *et al.*, 2019). En muchas especies, incluidas las ovejas, más del 30% de los folículos ovulados no llegan a desarrollarse hasta el término, es por ello que la industria ganadera, se encuentran en una búsqueda constante de mejorar el aspecto del rendimiento reproductivo ya que este representaría un profundo aumento en la producción (O'Connell *et al.*, 2013).

Se han realizado numerosos estudios sobre las aportaciones del abastecimiento de nutrientes en el contexto morfológico, metabólico, fisiológico, hormonal y

adaptativo durante el desarrollo y gestación de las reproductoras, descubriéndose que la adición de suplementos en la alimentación de los pequeños rumiantes ha sido esencialmente empleada para potenciar la reproducción, impulsando la dinámica folicular, la tasa de ovulación y la supervivencia embrionaria (O'Connell *et al.*, 2013; Fierro *et al.*, 2014). En múltiples estudios se asocia la condición corporal (CC) y el peso vivo (PV) como indicadores cruciales vinculados al rendimiento reproductivo. Una CC baja es asociada a una insuficiencia en la actividad reproductiva, provocando un retraso o supresión del estro, en el ámbito ovárico esta puede alterar tanto la foliculogénesis como la respuesta ovárica, notándose que las ovejas con una CC adecuada exhiben una tasa de ovulación superior a las que tienen una CC baja (Isla *et al.*, 2010).

Se conoce la existencia de varios factores que influyen al retorno a estro y ciclicidad ovárica en ovejas, siendo la nutrición un factor fundamental en el desarrollo folicular mediante diversos mecanismos endocrinos, neuronales y metabólicos (Orozco *et al.*, 2022). Es conocido que el tiempo desde el parto hasta que aparece el primer celo y ovulación puede verse afectado por el PV y la CC, ya que ambas variables son claves en el estado alimenticio de las ovejas, impactando en las diversas fases reproductivas y productivas de estas (Ascari *et al.*, 2013; Maurya *et al.*, 2017).

La relevancia de la nutrición en el proceso de foliculogénesis inicia desde el periodo fetal y en los primeros meses después del nacimiento, esto es debido a que la exposición de la oveja gestante y lactante a diferentes planos nutricionales determinan el número de folículos que se desarrollan y el potencial reproductivo que tendrá en su vida adulta, el aspecto nutricional tiene efectos que son inmediatos, cambiantes y estacionales, lo que impacta la cantidad de folículos que serán seleccionados para la ovulación (Cervantes, 2018). Diversas investigaciones llevadas a cabo en México acerca de la CC en ovejas de pelo que han recibido tratamientos hormonales presentan resultados diferentes respecto a la actividad estral, el desarrollo de los folículos, crecimientos ováricos y la tasa de ovulación en las hembras que participaron en estas investigaciones

(De la Isla *et al.*, 2010). Otros autores indican que ovejas con una CC alta (> 3 puntos) tienen un efecto positivo en el rendimiento reproductivo, como mejores tasas de fertilidad, mayor longitud y tasa de estro, así como mayor actividad folicular y tasa ovulatoria, en comparación con las ovejas con una CC baja (≥ 1.5 puntos) durante la época de cría (Vatankhah *et al.*, 2012; Cam *et al.*, 2018). De misma manera, se ha señalado que las ovejas con una CC elevada (> 3 puntos) presentan una capacidad reproductiva favorable, observándose mejores índices de fertilidad, celo más prolongados y frecuentes, así como un aumento en la actividad folicular y en la tasa de ovulación, en contraste con aquellas que presentan una baja CC (≥ 1.5 puntos) durante la temporada de reproducción (Vatankhah *et al.*, 2012; Cam *et al.*, 2018).

Esto nos lleva a inferir que en hembras que se encuentran en la fase de posparto inicial, una baja CC inicia de manera el ciclo reproductivo, ya que su desarrollo folicular se ve afectado por la elevada concentración de ácidos grasos no esterificados y β -hidroxibutirato, lo cual se traduce en un mayor tiempo entre el parto y el primer folículo preovulatorio o ciclo fértil, hallazgos importantes se reportan de igual manera en un estudio que involucró a la raza ovina BlackBelly, donde se observó que las ovejas con una puntuación de CC de 3 puntos mostraron una tasa ovulatoria superior, en comparación con aquellas que tenían 1 y 2 puntos de CC (Orozco *et al.*, 2022). Siendo de forma habitual descartadas ovejas con una CC baja de los programas de sincronización de estro, debido al alto costo del tratamiento y la escasa probabilidad de respuesta de estas hembras ante estos, reconociéndose la necesidad del uso de programas nutricionales y de sincronización hormonal que faciliten la gestión reproductiva del ganado (Aké *et al.*, 2013).

Los tratamientos nutricionales a corto plazo ("nutrición enfocada") potencian la respuesta ovárica en ovejas, incrementando en el flujo de nutrientes que influye directamente en el ovario fomentando el crecimiento y desarrollo de folículos susceptibles a gonadotropinas, los tratamientos nutricionales intensivos provocan alteraciones dinámicas en los sistemas metabólicos homeostáticos, mayormente durante los primeros tres días de suplementación, las

concentraciones de glucosa, insulina y leptina se elevan a niveles máximos y luego se reducen con los niveles de esta hormona (Fierro *et al.*, 2014). Es crucial tomar estos suplementos en una etapa determinada del ciclo estral, especialmente los días -8 al 4 antes de la ovulación, cuando se produce la selección de la onda ovulatoria. De esta forma, un suplemento ingerido durante 6 días junto con una mezcla de carbohidratos, proteínas o una alimentación basada en pastura, incrementará la respuesta ovárica y la cantidad de corderos gemelos nacidos (Fierro *et al.*, 2014).

2.8. Acido ferúlico

A escala global, existe una extensa variedad de antioxidantes, muchos de los cuales se emplean actualmente en las industrias farmacéuticas, alimenticias y cosméticas. Un ejemplo de estos antioxidantes son los fenoles, que se encuentran en numerosas especies vegetales, con la capacidad de producir varios efectos biológicos, siendo el AF uno de los más empleados para este fin, se trata de un ácido hidroxicinámico, también conocido biológicamente como ácido 4-hidroxi-3-metoxicinámico, un fenólico fotoquímico sencillo comúnmente encontrado en los tejidos de las plantas. Este grupo forma una de las componentes fundamentales de las paredes celulares primarias de las plantas (Pacheco, 2015; Yin *et al.*, 2019; Almeraya y Navarrete, 2021).

El AF es el ácido fenólico más abundante encontrado en los granos de cereal, que constituyen una de las principales fuentes dietéticas para los animales de producción (Yin *et al.*, 2019). Principalmente encontrado en las partes externas del grano en la capa de aleurona y el pericarpio, el grano de trigo contiene en su constitución 98% de AF total, su contenido en diferentes harinas de trigo y salvado es la principal fuente de polifenoles, las harinas de arroz y avena contienen aproximadamente la misma cantidad fenoles que la harina de trigo (63 mg/kg) (Manach *et al.*, 2004; Chaudhary *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2019).

El contenido de AF en la harina de maíz es aproximadamente 3 veces superior, predominando en su versión trans la cual se convierte en arabinoxilanos y

hemicelulosas en la aleurona y el pericarpio respectivamente, únicamente el 10% del AF se puede disolver libremente en el salvado de trigo, los cereales contienen varios dímeros de AF, generando estructuras de vinculación entre las cadenas de hemicelulosa y celulosa (Manach *et al.*, 2004; Chaudhary *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2019). Este compuesto es uno de los principales metabolitos de la biosíntesis de la lignina, fenilalanina y tirosina en plantas, encontrándose dos formas en los tejidos vegetales: libre y conjugada, la suma de estas dos formas de AF nos indican la cantidad total de este fitoquímico en los ingredientes de origen vegetal (Zhao y Moghadasian, 2008). El efecto del AF en la salud se basa en su consumo y en sus características farmacocinéticas, se calcula que el consumo de estos conduce a una ingesta de alrededor de 150 a 250 mg diarios de AF (Zhao y Moghadasian, 2008; Yin *et al.*, 2019; Zheng *et al.*, 2020).

2.9.1 Funciones

El AF y sus derivados de éster poseen una amplia gama de actividades biológicas relacionadas a sus propiedades antioxidantes, incluyendo funciones antimicrobiana, antialérgica, antibacteriana, anticancerígena, así como antiinflamatoria, antivirales, aumentando la viabilidad sérica, acciones vasodilatadoras, quelación de metales, modulación de actividades enzimáticas, activación de factores transcripcionales, expresión génica y transducción de señales en sistemas biológicos, cuyos efectos beneficiosos se atribuyen a la potente actividad de eliminación de radicales libres del cuerpo por parte de este compuesto y sus derivados de éster (Chaudhary *et al.*, 2019; Zheng *et al.*, 2020). Existen siete mecanismos que pueden poner a prueba la actividad antioxidante de estas moléculas (Galano *et al.*, 2016). Los principales cinco mecanismos de reacción de los radicales con moléculas antioxidantes son la formación de aductos radicales (RAF), transferencia de átomo de hidrógeno (HAT), transferencia de electrones (SET), transferencia secuencial de protones y electrones (SEPT) y transferencia de protón y electrón acoplados (PCET) (Almeraya y Navarrete, 2021).

Los radicales libres tienen la capacidad de interactuar con los antioxidantes mediante estos siete procesos. Se observa que el AF ejerce un efecto estabilizante que fomenta la unión del aducto RAF más estable y el radical -OH , creando un estado transitorio que vincula a los reactivos con este antioxidante (Chaudhary *et al.*, 2019; Almeraya y Navarrete, 2021). Se ha identificado a los mecanismos RAF, como uno de los más importantes para la actividad captadora de radicales libres de varios antioxidantes, tal es el caso de la cafeína (León y Galano, 2011). Al igual que el anterior antioxidante mencionado, el AF se caracteriza por la presencia de enlaces múltiples que son características estructurales clave de este mecanismo. Además, los radicales electrofílicos se involucran con mayor probabilidad en las reacciones RAF que los radicales no electrofílicos (Almeraya y Navarrete, 2021).

Se sabe que la resonancia del AF con radicales fenoxi y núcleo fenólico está asociada con su potencial antioxidante y anticancerígeno (Lampiasi y Montana, 2018). La cadena lateral insaturada demuestra conjugación que equilibra los radicales fenoxi, estos radicales libres tienen la capacidad de unirse a otro AF y formar dímeros, la aparición de un segundo grupo de hidroxilo fenólico aumenta la acción de eliminación de radicales debido a la resonancia adicional y la formación de O-quinona (Lampiasi y Montana, 2018; Chaudhary *et al.*, 2019).

2.9.2 Farmacocinética

La farmacocinética de este compuesto no ha sido adecuadamente documentada, pero existen estudios escasos que evidencian que la actividad de este compuesto puede ser parecida en animales y humanos a los que se les ha administrado de forma libre. Se han identificado cantidades de este compuesto a tan solo 10 min de su administración oral, lo que sugiere que estos ácidos se absorben rápidamente y las concentraciones en el plasma pueden llegar a sus niveles máximos a los 24 min después de haber entrado al sistema con un tiempo de vida media de 42 min (Zhao y Moghadasian, 2008; Macuso y Santagelo, 2014; Chaudhary *et al.*, 2019)

La absorción y el metabolismo del AF han sido extensamente investigados, tomando en cuenta diversos factores, como la cantidad inyectada y la especie animal que se examine. El AF se absorbe, se emplea y se libera en la orina en forma de derivados de ácido fenilpropiónico, así como conjugados de glicina (Lampiasi y Montana, 2018; Chaudhary *et al.*, 2019). Investigaciones en metabolismo han evidenciado que este compuesto puede ser metabolizado *in vivo* en una variedad de metabolitos que comprenden AF-glucurónido, AF-sulfato, AF-diglucurónido, AF-sulfoglucurónido (AF-diconjugado con sulfato y glucurónido), m-hidroxifenilpropiónico, feruloilglicina, ácido dihidroferúlico, ácido vanílico y vanil-loilglicina, estos sustratos de manera conjugada incluyen al AF-glucurónido, AF-sulfato y AF-sulfoglucurónido, siendo los principales metabolitos encontrados en plasma y orina (Zhao y Moghadasian, 2008).

Diversas investigaciones sugieren que la reacción de conjugación del AF con ácido glucurónico y sulfato es la principal vía del metabolismo de este compuesto. La conjugación ocurre principalmente en el hígado a través de actividades sulfotransferasas, aunque la mucosa intestinal también participa en menor medida en este proceso de conjugación. La cantidad de conjugación depende de la dosis administrada, ya que dosis elevadas de AF pueden saturar las enzimas de conjugación, lo que resulta en la acumulación de AF libre en plasma y su posterior eliminación a través de la orina. La excreción urinaria del AF está influenciada por la forma en que se administra después de la administración oral. Una pequeña cantidad de AF libre puede metabolizarse mediante beta oxidación en el hígado (Zhao y Moghadasian, 2008; Macuso y Santagelo, 2014).

Además, la microflora intestinal también metaboliza los AF en ácido m-hidroxifenilpropiónico mediante reducción, desmetilación y deshidroxilación, los AF se encuentran principalmente en formas esterificadas con sacáridos y esteroides o en formas esterificadas con lignina. Las esterasas presentes en la luz del intestino descomponen los AF unidos para producir AF libres que pueden ser absorbidos y metabolizados posteriormente. Cuando las esterasas mucosas del intestino descomponen estos compuestos, se produce una absorción rápida de los AF libres. Por otro lado, los polisacáridos féruloil y algunos oligosacáridos

féruloil no pueden ser descompuestos en el intestino delantero por estas enzimas y la microflora intestinal. Sin embargo, el intestino posterior sí puede descomponer estos compuestos y liberar AF para su absorción o degradación (Zhao y Moghadasian, 2008; Macuso y Santagelo, 2014).

Se ha observado que la albúmina sérica parece ser el principal transportador del AF tras su metabolismo, viajando junto al eritrocido, adhiriéndose a este a través de la proteína sanguínea (albumina), y viajando junto a ella a lo largo de todo el sistema a través del flujo sanguíneo. Se calcula que cerca del 4%, 10% y 53% del ácido féruco suministrado oral se pueden hallar en la mucosa gástrica, sangre y otros tejidos incluyendo hígado y riñón respectivamente, tras ser absorbido en el intestino, el AF puede distribuirse rápidamente en el hígado y tejidos periféricos. En la mayoría de los tejidos, las concentraciones de AF libre se reducen en un 20%, en los riñones en un 80%, en los pulmones y en un 50% en otros tejidos después de 60 minutos de su administración (Zhao y Moghadasian, 2008; Macuso y Santagelo, 2014).

El AF se excreta del sistema, principalmente a través de la orina, ya sea en su forma libre o conjugada. Además, se ha descubierto que el ácido fluorhídrico se excreta a través de la bilis, representando alrededor del 4 al 6% de la dosis oral que se ha administrado. Se calcula que la vida media del ácido fluorhídrico podría variar entre 10 y 30 minutos, dependiendo de la dosis y el método de administración, la vida media del AF sugiere una baja toxicidad (Zhao y Moghadasian, 2008). Por lo general, la biodisponibilidad del AF en forma libre es escasa debido a su rápido proceso de conjugación en el hígado. Esto podría ser atribuible a la forma actual del AF y la cantidad de dosis administrada vía oral que influye en su destino en la alimentación, su absorción en el tracto gastrointestinal y sus concentraciones en el sistema. Por ende, la manera en que se administra el AF, ya se ha unido o no, determina su nivel de absorción (Zhao y Moghadasian, 2008; Macuso y Santagelo, 2014).

2.9.3 Efectos en el metabolismo

El AF mejora el funcionamiento del sistema insulina-glucosa, promoviendo la biosíntesis en el hígado, incrementando la producción de energía al convertir ácidos grasos en energía de almacenamiento o a su vez promoviendo la liberación de esta energía de reserva cuando así el organismo lo requiera (Valadez *et al.*, 2021; Luo *et al.*, 2022). La suplementación con AF reduce el contenido de triglicéridos hepáticos, revelándose que animales tratados con AF tienen un gasto energético elevado, el tratamiento con AF aumenta la expresión de las enzimas limitantes de velocidad de oxidación de ácidos grasos y de la biosíntesis de cuerpos cetónicos, los cuales son objetivos de los receptores activados por el proliferador de peroxisomas- α (PPAR α) en el hígado, señalando que el AF podría prevenir eficazmente la enfermedad de hígado graso no alcohólico inducida por una dieta rica en grasas, al aumentar el gasto energético y disminuir la acumulación de triacilglicerol en este órgano (Luo *et al.*, 2022).

La insulina promueve el transporte de glucosa a las células del tejido adiposo y muscular mediante una cascada de señalización que inicia con la unión de dicha hormona a su receptor RI, el cual se auto fosforila y activa el sustrato del receptor de insulina IRS1, posteriormente tras una serie de reacciones enzimáticas se produce la translocación del transportador de glucosa a la membrana celular lo que resulta en un incremento del transporte de glucosa a la célula y el AF estimula la captación de la glucosa por los tejidos periféricos sensibles a la insulina, un estudio realizado con AF mostró que estos compuestos inducen al aumento de la expresión del transportador de glucosa, generando una acción comparable a fármacos hipoglucemiantes orales, mejorando así el transporte de glucosa en adipocitos mediante la activación de la cascada de señalización de P13K y por lo tanto la translocación de glucosa a la membrana plasmática celular (Figueroa *et al.*, 2016; Valadez, 2019).

El hígado se considera como un órgano clave para mantener la concentración basal de glucosa en sangre, este proceso está mediado por algunas hormonas como glucagón e insulina las cuales regulan el almacenamiento de glucosa en

forma de glucógeno en hígado y la liberan cuando la concentración sanguínea es baja, así mismo regulan la producción de glucosa mediante la vía de gluconeogénesis, siendo las enzimas clave en la creación de glucosa el piruvato carboxilasa, fosfoenolpiruvato carboxícinasa, la fructosa-1,6-bifosfatasa y la glucosa -6- fosfatasa, se sabe que algunos compuestos fenólicos como el AF pueden influir en estos procesos y por lo tanto en la regulación de glucosa en sangre, pudiéndose sugerir estos modulan el metabolismo lipídico solo en presencia de dislipidemia, en general estos compuestos parecen actuar como un modulador del metabolismo energético en animales con trastornos metabólicos de carbohidratos y lípidos (Figuerola *et al.*, 2016; Valadez *et al.*, 2021; Luo *et al.*, 2022).

Tal vez, este ajuste en el metabolismo de la glucosa debido a los AF sea el resultado del aumento de la concentración de insulina circulante y la translocación de glucotransportadores (GLUT4) hacia la membrana celular (Kumar y Goel, 2019; Naowaboot *et al.*, 2018), lo que a su vez favorece el metabolismo energético en tejidos como el músculo esquelético (Chen *et al.*, 2019; Chodkowska *et al.*, 2018). Es importante resaltar que esta es una reacción esencial para la reproducción y el desarrollo de los animales, ya que la glucosa es el principal recurso energético empleado por las gónadas y los músculos (Macías *et al.*, 2014; Valadez, 2019).

Respecto al metabolismo proteico, hasta ahora, los datos disponibles se circunscriben a ovejas bajo diversas condiciones meteorológicas. Aunque este fenol no influye en los niveles de proteína total y urea en la sangre de corderos bajo condiciones termoneutrales (Macías *et al.*, 2014, 2018; Valadez, 2019), en corderos expuestos a bajas temperaturas, se observa un incremento en la concentración de proteína total en la sangre (Wang *et al.*, 2019 a), se propone la noción de que los AF elevan la proteína total en la sangre debido a que potencian la producción proteica microbiana y la actividad antioxidante de las enzimas que evita la oxidación proteica (Wang *et al.*, 2019 ab). Por lo tanto, el AF podría fomentar la producción de proteínas y disminuir su catabolismo (efecto citoprotector) (Valadez, 2019).

Para mejorar el metabolismo proteico, al menos en los rumiantes. Este efecto beneficioso de los AF sobre el metabolismo proteico requiere más estudios para comprender con precisión el mecanismo de acción en los rumiantes y otros animales de producción (Valadez, 2019).

2.9.4 Efectos en la reproducción

Reportes indican que la administración de AF en la dieta de ovejas prepuber estimula el desarrollo reproductivo, crecimiento folicular y ovulación, concluyéndose que este compuesto acorta la edad a la pubertad, acelerando la madures sexual (Macías *et al.*, 2018). Moshfegh *et al.*, (2016), revelan que los extractos de *Phoenix dactylifera* (planta rica en compuestos fenólicos) puede crear un ambiente adecuado para la ovogénesis y mantener una fertilidad efectiva en ratones hembra tratados con este compuesto, además de estimular una mayor producción de estrógenos y progesterona. Resultados generales de la administración de este compuesto, indican los beneficios de este en cuanto a la actividad reproductiva los cuales están directamente relacionados con una acción directa a nivel gónadas, en condiciones *in vitro* con ovocitos a demás han informado que el AF favorece la maduración, fertilización de ovocitos y desarrollo embrionario ya que su acción antioxidante ayuda a prevenir y evitar el daño celular oxidativo generado por el aumento de la producción de ROS (Lee y Hyun, 2017; Tanihara *et al.*, 2018).

La función antioxidante del AF modula la fisiología endocrina del ovario por su elevada afinidad a los receptores de estrógeno, su acción reguladora del sistema insulina-glucosa, la capacidad de este para estimular la liberación de GH e IGF-I (Chodkowska *et al.*, 2018; Macías *et al.*, 2018; Kiyama, 2019). La acción conjunta de estos mecanismos promueve un ambiente metabólico favorable en los ovarios para mejorar la foliculogénesis y esteroidogénesis, impactando positivamente en el tamaño folicular y lúteo, la síntesis de hormonas esteroideas y la calidad y maduración de los ovocitos (Macías *et al.*, 2018; Moshfegh *et al.*, 2016). La alta

actividad endocrina folicular y lútea debido a los AF ayuda al correcto funcionamiento del eje hipotálamo-hipofisario-gonadal (Mbemba *et al.*, 2017).

En un estudio realizado en ovejas antes de la madurez sexual informa que el FA mejoró la capacidad antioxidante, estimulando el desarrollo del tracto reproductor y la actividad ovárica, pudiendo deberse a que los antioxidantes administrados de manera exógena llegan al torrente sanguíneo para ser redistribuidos por el cuerpo, incluido el tracto reproductivo, reduciendo consecuentemente los niveles elevados de ROS generado por las células foliculares o cualquier grupo de células en el tejido reproductivo puede ser neutralizado con la ayuda de

antioxidantes exógenos, lo que favorece la regulación de la función celular y, en consecuencia, la actividad reproductiva en ovejas prepuberes (Macías *et al.*, 2018). Debido a diversos estudios de los AF se puede asumir que todos los eventos reproductivos están regulados por señales metabólicas y endocrinas, siendo probable que otros mecanismos, distintos a los antioxidantes, estén actuando para mejorar los procesos reproductivos de las hembras tratadas con AF (Macías *et al.*, 2018).

2.9.5 Restricciones del uso

A pesar de los beneficios mencionados, un uso incorrecto de este fitoquímico puede provocar consecuencias perjudiciales. Diversas investigaciones evidencian que la ingesta en dosis elevadas en corderos (superior a 2000 mg de AF kg alimento) o la aplicación extendida en bovinos (60 d) reduce la digestibilidad de los nutrientes (Wang *et al.*, 2019 a) o produce actividad prooxidante respectivamente (González *et al.*, 2016). La acumulación desmedida de este fenol en los tejidos causa un incremento en la habilidad para disminuir el hierro (funcionando como un secuestrante de este mineral) y, por ende, daño oxidativo (Noriega, 2016; González *et al.*, 2016). Así, es necesario realizar estudios para determinar las dosis exactas para cada especie para prevenir efectos negativos derivados del uso del AF (Valadez *et al.*, 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. General

Todos los métodos y manejo de las unidades experimentales utilizadas de este estudio fueron en estricto acuerdo con los lineamientos para el uso ético, cuidado y bienestar de animales en investigación a nivel internacional (National Research Council, 2011) y nivel nacional (Salazar y Jimenez, 2023).

3.2 Lugar de estudio y condiciones climáticas

El experimento se llevó a cabo en la posta ovina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN UL), la cual se ubica en Torreón, Coahuila, México (25° LN). El clima en la región es semiárido con una precipitación media anual de 242.2 mm, y temperaturas máximas y mínimas de 41.4 °C y -2 °C, respectivamente (CONAGUA, 2023).

3.3 Animales experimentales y manejo

El estudio se realizó durante la época reproductiva natural de ovinos en la región de estudio. Previamente, todas las ovejas del rebaño vacías fueron sometidas a dos ecografías en tiempo real con intervalos de 7 días para confirmar que no estuvieran preñadas y estuvieran ciclando (presencia de CL en los ovarios al menos en uno de los días de ecografía). Las ecografías fueron realizadas por personal experimentado usando un equipo de ultrasonido (Chison ECO3; Chison Medical, Technologies Co.) provisto de una sonda multifrecuencia de 2.5 a 11.0 MHz. Se eliminaron todas aquellas ovejas que se diagnosticaron preñadas, presentaron anomalías en el aparato reproductor, no estaban ciclando regularmente o tenía una CC <2.0 puntos en escala de 1 (muy flacas) a 5 (muy gordas) (Russel *et al.*, 1969). Al final, se seleccionaron solamente 22 ovejas multíparas adultas de la raza Dorper que presentaban una edad entre 2 y 4 años, un peso vivo (PV) de 54.0 ± 1.6 kg y una CC de 2.5 ± 0.1 puntos.

En general, las ovejas fueron manejadas bajo un sistema intensivo en dos corrales (al menos 2.0 m²/animal) y alimentadas ad libitum solamente con heno de alfalfa (Proteína cruda= 17.1 %, Energía neta [EN] para crecimiento= 0,234 MJ/kg y EN para mantenimiento= 0.35 MJ/kg). Además, la disponibilidad de agua fue a libre acceso y limpia. Los corrales contaban con comederos, bebederos y área de sombra. Este manejo se mantuvo completamente desde antes del empadre hasta el parto.

Respecto al manejo reproductivo del grupo de ovejas seleccionado, todas se sometieron a un protocolo de sincronización que consistió en aplicar intramuscularmente dos inyecciones de 75 mg de PG (Cloprostenol 50 mg, Laboratorio Brovel, México). Adicionalmente, junto con la segunda inyección de PG se aplicó también intramuscularmente 200 UI de hCG. Finalizado el protocolo, todas las ovejas se sometieron a detección de estro y monta natural controlada con dos machos Dorper fértiles. Durante la época de parto, se estuvieron vigilando las ovejas y aquellas que mostraron problemas para parir fueron ayudadas. En general, el estado de salud de las ovejas fue monitoreado visualmente por mañana y la tarde diariamente por un médico veterinario.

3.4 Diseño experimental

Las ovejas se asignaron aleatoriamente estratificándolas de acuerdo con el PV y CC a uno de dos tratamientos el día que finalizó el protocolo de sincronización de estro. Los tratamientos consistieron en administrar oralmente durante los siguientes 6 días post-aplicación de hCG: 1) 0 (testigo, n= 11) ó 2) 500 mg de AF/animal/día (GFA, n= 11). Cabe mencionar que el AF se diluyó en 10 mL de agua destilada antes de ofrecerlo con una jeringa a cada oveja de grupo GFA, mientras que las ovejas del grupo testigo se les administró 10 mL de agua destilada como efecto placebo. Los tratamientos se ofrecieron como única dosis por las mañanas antes de la alimentación.

3.5 Variables de estudio

3.5.1 Evaluación de conducta estral

Un macho celador equipado con un mandil se introdujo en la mañana y la tarde al corral de las ovejas durante los 7 días subsecuentes de haber finalizado el protocolo de sincronización. Las ovejas que no mostraban ningún reflejo a la monta por al menos 3 s se consideraron como ovejas en estro, las cuales se llevaban a otro corral para recibir dos montas consecutivas por un mismo macho Dorper, y finalmente se pasaban a otro corral donde se concentraron las ovejas en estro. Cabe mencionar que el macho celador se continuó introduciendo al corral de ovejas en estro. Se registró la identificación de las ovejas en estro, la hora en que aceptó la primera monta y las subsecuentes montas del macho celador. Con esta información se calcularon las siguientes variables de estudio: porcentaje de ovejas en estro ($[\text{número de ovejas en estro} / \text{número total de ovejas sincronizadas}] \times 100$), intervalo a estro (tiempo transcurrido entre la inyección de hCG y la primera monta efectiva del macho celador) y duración del estro (tiempo transcurrido entre la primera y la última monta efectiva del macho celador).

3.5.2 Evaluación de actividad ovulatoria y desarrollo embrionario

Todas las evaluaciones con ecografía se realizaron con el equipo de ultrasonido previamente descrito. Los ovarios de las ovejas se escanearon el día 10 post-finalización del protocolo de sincronización para registrar la presencia, número y diámetro de los CL. Adicionalmente, se volvió a realizar ecografía el día 23 post-finalización del protocolo de sincronización para medir número y tamaño de los embriones localizados en la vesícula. Con esta información se calcularon las siguientes variables de actividad ovulatoria: porcentaje de ovejas ovulando ($[\text{número de ovejas con presencia de CL} / \text{número total de ovejas sincronizadas}] \times 100$), tasa de ovulación (número de CL por oveja ovulando) y diámetro del CL. Respecto a las variables de desarrollo embrionario fueron: tasa embrionaria (número de embriones por oveja gestante) y tamaño del embrión.

3.5.3 Evaluación de comportamiento productivo

Se realizó nuevamente ecografía en las ovejas el día 32 post-finalización del protocolo de sincronización para hacer diagnóstico de gestación. Posteriormente, las ovejas ya no se manipularon hasta el parto. Las ovejas paridas se llevaron retiraron del corral común para llevarse al corral de partos junto con sus crías. Se registró la identificación de la madre, fecha de parto, y número y sexo de las crías nacidas por oveja, así como el peso al nacimiento de las crías después de que la madre los limpió y ellos consumieron calostro (alrededor 2 a 3 h post-parto). Las variables reproductivas registradas fueron: tasa de preñez (porcentaje de ovejas diagnosticadas gestantes del total de ovejas sincronizadas), fertilidad (porcentaje de ovejas paridas a partir del total de ovejas sincronizadas) y prolificidad (número de crías nacidas por oveja parida).

3.5.4 Evaluación de concentración de metabolitos sanguíneos

Los metabolitos evaluados fueron glucosa, cuerpos cetónicos y proteína total. Los primero dos analitos se midieron en campo utilizando un glucómetro portátil (Freestyle Optium Neo, China) al cual se le colocaban 10 μ L de sangre entera. Para la determinación de proteína total, se colectó una muestra de sangre por oveja ayunada en tubos Vacutainer® de tapa roja de 10 mL. Luego, todas las muestras se centrifugaron a 3500 rpm por 15 min para separar el suero, el cual se utilizó para medir la concentración de proteína total por la técnica de reflectometría utilizando un refractómetro clínico (Refractómetro REC-300ATC, marca Gain Express Holdings Ltd, China). Todos los metabolitos se midieron los días 0, 7, 14, 21 y 28 post-finalización del protocolo de sincronización.

3.6 Análisis estadístico

Todos los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc. Cary. NC. USA, V9.0). Las variables intervalo a estro, duración del estro, tasa ovulatoria, diámetro del CL, número de embriones, tamaño del

embrión, prolificidad y peso al nacimiento se sometieron análisis de varianza con el procedimiento ANOVA. Las variables cualitativas (ovejas en estro, ovejas ovulando, tasa de preñez y fertilidad) se analizaron con una prueba de chi-cuadrada usando el procedimiento FREQ. Finalmente, las concentraciones de metabolitos se analizaron con mediciones repetidas en el tiempo usando el procedimiento MIXED. Las medias se compararon con prueba de Tukey a un valor de $P \leq 0.05$.

IV. RESULTADOS

Los resultados de conducta estral, actividad ovulatoria y desarrollo embrionario se presentan en el Cuadro 5. Independientemente del tratamiento, el 100 % de las ovejas sincronizadas mostraron estro y ovularon. El AF no afectó ($P > 0.05$) la respuesta a estro y ovulatoria, intervalo a estro, duración del estro, tasa embrionaria y tamaño del embrión. Sin embargo, las ovejas del GAF registraron mayor ($P < 0.05$) tasa de ovulación, pero CL de menor ($P < 0.05$) tamaño, que las ovejas testigo.

Cuadro 5. Conducta estral, actividad ovulatoria y desarrollo embrionario por efecto del ácido ferúlico en ovejas Dorper sincronizadas con prostaglandina F2 α y gonadotropina coriónica humana.

Variable	Tratamientos	
	Testigo	Ácido ferúlico
Ovejas en estro (%)	100 (11/11) ^a	100 (11/11) ^a
Intervalo al estro (h)	37.1 $\pm$ 4.0 ^a	48.0 $\pm$ 10.0 ^a
Duración del estro (h)	33.8 $\pm$ 6.0 ^a	37.09 $\pm$ 4.0 ^a
Ovejas ovulando (%)	100 (11/11) ^a	100 (11/11) ^a
Tasa de ovulación (n)	1.6 $\pm$ 0.2 ^b	2.4 $\pm$ 0.2 ^a
Diámetro del cuerpo luteo (cm)	1.1 $\pm$ 0.1 ^a	0.9 $\pm$ 0.1 ^b
Tasa embrionaria (n)	2.0 $\pm$ 0 ^a	2.3 $\pm$ 0.1 ^a
Tamaño del embrión (cm)	1.30 $\pm$ 0.1 ^a	1.31 $\pm$ 0.1 ^a

^{a,b} Medias con superíndice diferentes dentro fila indican diferencia a $P \leq 0.05$.

Los resultados de comportamiento reproductivo se presentan el Cuadro 6. El 100 % de las ovejas sincronizadas quedaron preñadas, sin embargo, algunas de ellas no parieron (10-20 %). En general, el polifenol AF no causó cambios ($P > 0.05$) en la tasa de preñez, fertilidad y prolificidad. El peso al nacimiento de las crías tampoco fue afectado ($P > 0.05$) por alimentar a las ovejas con AF durante el empadre.

Cuadro 6. Comportamiento reproductivo por efecto del ácido ferúlico en ovejas Dorper sincronizadas con prostaglandina F2 α y gonadotropina coriónica humana.

Variable	Tratamientos	
	Testigo	Ácido ferúlico
Tasa de preñez (%)	100 (11/11) ^a	100 (11/11) ^a
Fertilidad (%)	82 (9/11) ^a	91 (10/11) ^a
Prolificidad (n)	1.8 $\pm$ 0.1 ^a	2.1 $\pm$ 0.2 ^a
Peso al nacimiento (kg)	3.3 $\pm$ 0.2 ^a	3.2 $\pm$ 0.2 ^a

^{a,b} Medias con superíndice diferentes dentro fila indican diferencia a $P \leq 0.05$.

Los resultados de concentraciones séricas de metabolitos se presentan en el Cuadro 7. La interacción tratamiento x día de muestreo no afectó ($P > 0.05$) a ningún metabolito. Similarmente, el AF como factor principal no causó ($P > 0.05$) cambios en las concentraciones de glucosa, cuerpos cetónicos y proteína total. El día de muestreo causó variación ($P < 0.05$) en todos los metabolitos medidos.

Cuadro 7. Concentraciones de metabolitos séricos por efecto del ácido ferúlico en ovejas Dorper sincronizadas con prostaglandina F2 α y gonadotropina coriónica humana.

Variable	Tratamientos ¹	
	Testigo	Ácido ferúlico
Glucosa (mg/dL)	54.4 $\pm$ 0.8 ^a	53.6 $\pm$ 0.8 ^a
Cuerpos cetonicos (mmol/L)	0.26 $\pm$ 0 ^a	0.29 $\pm$ 0 ^a
Proteína total (mg/dL)	6.8 $\pm$ 0.1 ^a	6.9 $\pm$ 0.1 ^a

^{a,b} Medias con superíndice diferentes dentro fila indican diferencia a $p \leq 0.05$.

La interacción tratamiento x día de muestreo no afectó ($P > 0.05$) a ningún metabolito.

V. DISCUSIÓN

Se planteó la hipótesis de que la administración oral de AF libre durante el empadre a ovejas de pelo sincronizadas con PG y dosis bajas de eCG ayuda a mejorar la respuesta estral, el desarrollo embrionario y el comportamiento reproductivo, por modificar el metabolismo de energía durante la época natural de reproducción. Este estudio demuestra que la suplementación con AF mejoró la TOV, así como el peso de la camada al nacimiento en ovejas Dorper anovulatorias sincronizadas al estro. Lo anterior, es probable que se deba a que los compuestos fenólicos tienen un efecto sobre la salud reproductiva, debido a su poder antioxidante que contribuye a salvaguardar las células reproductivas y mantener un entorno interno más sano para el crecimiento de los folículos y posteriormente embriones (Tufarelli, 2017; Frías y Rosales, 2021; Tapia *et al.*, 2022).

Según algunos autores, los compuestos fenólicos que provienen del metabolismo de las plantas tienen una estructura conformacional similar al 17- β estradiol (E2) (Pérez *et al.*, 2007; Di Gioia y Petropoulos, 2019). Cuando estos son consumidos por los animales, pueden funcionar como moduladores selectivos de los receptores estrogénicos (REs) y desempeñar su papel como disruptores endocrinos de manera agonista o antagonista. Esto puede interferir en la síntesis, secreción, transporte y metabolismo de las hormonas reproductivas a lo largo del desarrollo embrionario y de la vida adulta (Adams, 1995; Whitten y Patisaul, 2001; Di Gioia y Petropoulos, 2019).

Asimismo, estas sustancias modifican la secreción de la hormona folículo estimulante (FSH) (Arispe y Adams, 2013). La cantidad de folículos que se pueden reclutar en ovejas está determinada por los niveles de FSH (Driancourt *et al.*, 1985); así, es posible que los polifenoles interfieran con el reclutamiento de folículos. Según Morales *et al.* (2022), en algunos estudios se ha informado que los factores asociados con la falta de efectos son el grado de concentración del fenol empleado, la especie, la dosis consumida y la estacionalidad.

No obstante, la transición de fotoperiodos ayuda a regular la ovulación, el comportamiento estral, la presencia de REs y la concentración de esteroides endógenos (Hashem et al., 2018), lo que tiene un impacto directo en cómo se manifiesta el comportamiento estral (Morales et al., 2022).

De acuerdo con Morales et al. (2022), la administración de xenoestrógenos naturales cambia el sistema endocrino, en función de la disponibilidad de Res y órganos blanco; no obstante, estos efectos sobre las variables reproductivas en ovinos todavía son contradictorios.

Se considera la probabilidad de que la respuesta estral, el desarrollo embrionario y el comportamiento reproductivo en general, no mostraran una diferencia entre el grupo testigo y el tratado con ácido ferúlico, debido a que la dosis ingerida no fue lo suficiente para estimular una mayor cantidad de receptores a estrógeno, sin embargo la cantidad administrada fue capaz de estimular la secreción de FSH, mejorando con ello la TOV.

Los resultados obtenidos en cuanto a la TOV muestran que el efecto antioxidante del AF modula la fisiología endocrina del ovario por su elevada afinidad a los receptores de estrógeno, regulando así el sistema insulina-glucosa, estimulando la liberación de GH e IGF-I y promoviendo la formación de CL en ovejas a las que se les administro este compuesto (Chodkowska et al., 2018; Macías et al., 2018; Kiyama, 2019).

Es probable que esta respuesta, se deba a que el AF regula el mecanismos de defensa contra agresiones químicas u oxidantes, promueve la expresión de enzimas antioxidantes (Kensler, et al., 2007), reduciendo componentes químicos que pueden generar sustancias toxicas o agresiones oxidativas (Baird y Dinkova-Kostova 2011), estabilizando los niveles excesivos de ROS intracelular promoviéndose su actividad antioxidante beneficiando así la actividad reproductiva, al evitar la muerte de células germinales (Truong et al., 2016).

Estos resultados son similares a los reportados por Macías-Cruz et al., (2018), quienes apreciaron mayor cantidad de CL en corderas prepuberes, alimentadas

con AF, además de un mejor desarrollo del tracto reproductivo y actividad ovárica en estas.

La acción conjunta de estos mecanismos promueve un ambiente metabólico favorable en los ovarios para mejorar la foliculogénesis y esteroidogénesis, impactando positivamente en el tamaño folicular y lúteo, la síntesis de hormonas esteroideas y la calidad y maduración de los ovocitos (Macías *et al.*, 2018; Moshfegh *et al.*, 2016).

La concentración de metabolitos sanguíneos no se vieron afectados en ninguno de los tratamientos. Estos resultados son similares a lo reportado por Macías *et al.*, (2018), en su trabajo con corderas prepúberes cuya suplementación con AF no altero ningún componente sanguíneo (glucosa, proteína total, etc), aludiendo que las concentraciones séricas de los metabolitos no fueron alteradas por AF. Es probable que esta respuesta se deba que el AF estabiliza los niveles de insulina y la glucogénesis, pero inhibe la gluconeogénesis señalización de la insulina manteniendo los niveles normales de glucosa (Narasimhan, *et al.*, 2015).

Según lo descrito por otros autores en sus investigaciones el AF puede incrementar la movilización de reservas energéticas además de la producción de proteína en el organismo animal, mejorando con ello el desarrollo y desempeño productivo, no obstante, la información sigue siendo escasa, abriendo un amplio campo de investigación sobre la administración de este fitoquímico (Valadez *et al.*, 2021).

VI. CONCLUSIONES

Se concluye que la administración de 500 mg de AF por día durante el empadre en ovejas Dorper sincronizadas con PG+hCG, no afecta el metabolismo de energía como las concentraciones de glucosa y cuerpo cetónicos no variaron. En consecuencia, el AF no coadyuvó con el protocolo de sincronización de estro para mejorar la conducta estral, el desarrollo embrionario y comportamiento reproductivo general de ovejas Dorper durante la época natural reproductiva.

La administración de AF puede ser una alternativa para mejorar la respuesta reproductiva ya que este compuesto mejora la actividad ovulatoria y desarrollo del CL en ovejas de raza Dorper sincronizadas al estro con prostaglandinas y gonadotropinas, por lo que podría usarse este compuesto fenólico como un co-tratamiento para aumentar la efectividad de los programas de sincronización de estro en ovinos de pelo.

VII. REFERENCIAS

- Abadjieva, D., Shumkov, K., Kistanova, E., Kacheva, D., & Georgiev, B. (2011). Opportunities for the improvement of the reproductive performances in female animals. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(3), 365-372. <https://doi.org/10.2298/BAH1103365A>
- Abecia, J. A., Forcada, F., & González-Bulnes, A. (2011). Pharmaceutical control of reproduction in sheep and goats. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 27(1), 67-79.
- Abecia, J. A.; Forcada, F. and González-Bulnes, A. 2012. Hormonal control of reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science* 130:173-179. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.011>
- Adams, N. R. (1995). Detection of the effects of phytoestrogens on sheep and cattle. *Journal of animal science*, 73(5), 1509-1515. <https://doi.org/10.2527/1995.7351509x>
- Arispe, S. A., Adams, B., & Adams, T. E. (2013). Effect of phytoestrogens on basal and GnRH-induced gonadotropin secretion. *J Endocrinol*, 219(3), 243-250. <https://doi.org/10.1530/JOE-13-0158>
- Aké-López, J. R., Casanova-Estrella, G., Centurión-Castro, F. G., & Aké-Villanueva, J. R. (2013). Efecto de la condición corporal sobre la sincronización del estro, fertilidad y prolificidad de ovejas de pelo. *Bioagrociencias*, 6(2), 34-38.
- Alhamada, M., Debus, N., Lurette, A., & Bocquier, F. (2017). Automatic oestrus detection system enables monitoring of sexual behaviour in sheep. *Small Ruminant Research*, 149, 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.02.003>
- Almeraya Sánchez, M. T., & Navarrete López, A. M. (2021). Estudio teórico de las propiedades antioxidantes del ácido ferúlico a través del mecanismo de formación de aductos con el radical• OH. <https://hdl.handle.net/11191/9338>

- Alvarado-Espino, A. S., Menchaca, A., Meza-Herrera, C. A., Carrillo-Moreno, D. I., Zúñiga-García, S., Arellano-Rodríguez, F., ... & Véliz, F. G. (2019). Ovarian response is not affected by the stage of seasonal anestrus or breed of goats when using a progesterone injection plus human chorionic gonadotropin-based protocol. *Animal reproduction science*, 204, 60-65. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.03.005>
- Alvarado-García, P., Cruz, M. T., & Grajales-Lombana, H. A. (2022). Concentraciones de progesterona durante el ciclo estral en ovinos en el trópico colombiano. *Revista MVZ Córdoba*, 27(s), e2156-e2156. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2156>
- Ananga, A., Obuya, J., Ochieng, J., & Tsolova, V. (2017). Grape seed nutraceuticals for disease prevention: current status and future prospects. *Phenolic compounds—biological activity*, 119-137. <http://dx.doi.org/10.5772/66894>
- Aréchiga-Flores, C., Cortés-Vidauri, Z., Hernández-Briano, P., Flores-Flores, G., Rochín-Berumen, F., & Ruiz-Fernández, E. (2019). Function and regression of the corpus luteum during the estrous cycle. *Abanico veterinario*, 9. <https://doi.org/10.21929/abavet2019.924>
- Arbués, R., F Quintana, C., Yáñez, E., Kornuta, M., & Fernández, J. (2018). Evaluación de diferentes dosis de gonadotrofina coriónica equina en el protocolo de sincronización de celo en ovejas. *Revista veterinaria*, 29(2), 104-108. <https://dx.doi.org/10.30972/vet.2923273>
- Arroyo, J. (2011). Reproductive seasonality of sheep in Mexico. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(3), 829-845.
- Ascari I. J., Alves, A., Pérez, J., Lima, R., García, I., Nogueira, G., Junqueira, F., Castro, T., Aziani, W., & Alves, N. (2013). Nursing regimens: Effects on body condition , return to postpartum ovarian cyclicity in Santa Ines ewes, and performance of lambs. *Animal Reproduction Science*, 140(3-4), 153-163. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.06.002>

- Atuesta, J., & Diaza, Á. G. (2011). Control hormonal del ciclo estral en bovinos y ovinos. *Spei Domus*, 7(14). <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/sp/article/view/598>
- Ávila-Castillo, B. R., García-Flores, E. O., Molina-Mendoza, P., Peralta-Ortiz, J., & Sánchez-Torres-Esqueda, M. T. (2019). Estrous synchronization in hair sheep using a protocol based on prostaglandin+ GnRH. *CienciaUAT*, 13(2), 141-151. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1012>.
- Baird, L., & Dinkova-Kostova, A. T. (2011). The cytoprotective role of the Keap1–Nrf2 pathway. *Archives of toxicology*, 85, 241-272. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0674-5>
- Balan-May, D., Chiquini-Medina, R., Flota-Bañuelos, C., Hernández-Marín, A., Rosales-Martínez, V., & Fraire-Cordero, S. (2021). Short-term protocols for the estrus synchronization in hair sheep in Campeche, Mexico. *Abanico veterinario*, 11. <https://doi.org/10.21929/abavet2021.34>
- Bartlewski, P. M., Sohal, J., Paravinja, V., Baby, T., Oliveira, M. E. F., Murawski, M., ... & Keisler, D. H. (2017). Is progesterone the key regulatory factor behind ovulation rate in sheep?. *Domestic Animal Endocrinology*, 58, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2016.06.006>
- Bešlo, D., Došlić, G., Agić, D., Rastija, V., Šperanda, M., Gantner, V., & Lučić, B. (2022). Polyphenols in ruminant nutrition and their effects on reproduction. *Antioxidants*, 11(5), 970. <https://doi.org/10.3390/antiox11050970>
- Bobadilla-Soto, E. E., Ochoa-Ambriz, F., & Perea-Peña, M. (2021). Dinámica de la producción y consumo de carne ovina en México 1970 a 2019. *Agronomía Mesoamericana*, 963-982. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v32i3.44473>.
- Cabrera-Mora, J., Miranda-Jiménez, L., Herrera-Haro, G., & Osorio-Ávalos, J. (2019). Tasa de concepción en ovejas tratadas con selenio orgánico. *Abanico veterinario*, 9(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.93>

- Caiza, G. B. C., Avalos, D. O. Y., Troncoso, I. H. C., & Marini, P. R. (2024). Variaciones en las concentraciones séricas de progesterona (P4) durante el ciclo estral de ovejas. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 6(5), 87-98. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i5.1185>
- Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Montañez-Valdez, O. D. (2022). Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), e2246-e2246. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2246>
- Chang HK, Hsu FL, Liu IM, Cheng JT. Stimulatory effect of cinnamic acid analogues on α 1A-adrenoceptors in-vitro. *J Pharm Pharmacol*. 2003; 55: 833–837. PMID: 12841945. <https://doi.org/10.1211/002235703765951456>
- Chaudhary, A., Jaswal, V. S., Choudhary, S., Sonika, Sharma, A., Beniwal, V., ... & Sharma, S. (2019). Ferulic acid: a promising therapeutic phytochemical and recent patents advances. *Recent Patents on Inflammation & Allergy Drug Discovery*, 13(2), 115-123. <https://doi.org/10.2174/1872213X13666190621125048>
- Chen, X., Guo, Y., Jia, G., Zhao, H., Liu, G., & Huang, Z. (2019). Ferulic acid regulates muscle fiber type formation through the Sirt1/AMPK signaling pathway. *Food & function*, 10(1), 259-265. 10.1039/C8FO01902A
- Chodkowska, K. A., Ciecierska, A., Majchrzak, K., Ostaszewski, P., & Sadkowski, T. (2018). Simultaneous miRNA and mRNA transcriptome profiling of differentiating equine satellite cells treated with gamma-oryzanol and exposed to hydrogen peroxide. *Nutrients*, 10(12), 1871. <https://doi.org/10.3390/nu10121871>
- Cam, M. A., Garipoglu, A. V., & Kirikci, K. (2018). Body condition status at mating affects gestation length, offspring yield and return rate in ewes. *Archives Animal Breeding*, 61, 221-228. <https://doi.org/10.5194/aab61-221-2018>

- Cañas Tovar, G. M. (2021). El recurso hídrico en la bolsa de valores. Implicaciones, instrumento financiero utilizado y cotización en la bolsa. <https://hdl.handle.net/20.500.11777/5237>
- Cardona Tobar, K. M., López Álvarez, D. C., & Álvarez Franco, L. Á. (2020). Estudios de asociación genómica en ovinos de América Latina. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(3), 859-883. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5372>
- Córdova-Izquierdo, A., Córdova-Jiménez, M. S., Córdova-Jiménez, C. A., & Guerra-Liera, J. E. (2008). Procedimientos para aumentar el potencial reproductivo en ovejas y cabras. *Revista Veterinaria*, 19(1), 67-79. <https://doi.org/10.30972/vet.1914305>
- COMECARNE (Consejo Mexicano de la Carne). (1 de Junio de 2023). Compendio Estadístico 2023. Obtenido de https://comecarne.org/wp-content/uploads/2023/05/Compendio-Estadistico-2023_COMECARNE.pdf
- CONAGUA. 2023. Reporte del Clima en México. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- De la Isla, G., Aké-López, R., Ayala-Burgos, A., & González-Bulnes, A. (2010). Efecto de la condición corporal y la época del año sobre el ciclo estral, estro, desarrollo folicular y tasa ovulatoria en ovejas Pelibuey mantenidas en condiciones de trópico. *Veterinaria México*, 41(3), 167-175.
- Díaz-Sánchez, C. C., Jaramillo-Villanueva, J. L., Bustamante-González, Á., Vargas-López, S., Delgado-Alvarado, A., Hernández-Mendo, O., & Casiano-Ventura, M. Á. (2018). Evaluación de la rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de ovinos en la región de Libres, Puebla. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(2), 263-277. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4495>

- Driancourt, M. A., Gibson, W. R., & Cahill, L. P. (1985). Follicular dynamics throughout the oestrous cycle in sheep. A review. *Reproduction Nutrition Développement*, 25(1A), 1-15.
- Di Gioia, F., & Petropoulos, S. A. (2019). Phytoestrogens, phytosteroids and saponins in vegetables: Biosynthesis, functions, health effects and practical applications. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 90, pp. 351-421). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.004>
- Dorniak, P., Bazer, F. W., & Spencer, T. E. (2013). Physiology and Endocrinology Symposium: biological role of interferon tau in endometrial function and conceptus elongation. *Journal of animal science*, 91(4), 1627-1638. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5845>
- Espejel-García, A., Barrera-Rodríguez, A. I., Rodríguez-Moreno, A., & de Lourdes Santiago-Vargas, M. (2015). Caracterización de los productores y dinámica de adopción de innovación en el municipio de Villa Victoria, Estado de México. *Ra Ximhai*, 11(5), 17-34.
- FAO. (2022). *STATISTICAL YEARBOOK*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 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(3), 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.10.022>
- Fierro, S., Gil, J., Viñoles, C., Soca, F., Banchemo, G., & Olivera-Muzante, J. (2014). Protein supplementation during a short-interval prostaglandin-based protocol for timed AI in sheep. *Animal reproduction science*, 149(3-4), 158-162. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.07.009>
- Fierro, S., Viñoles, C., & Olivera-Muzante, J. (2016). Concentrations of steroid hormones, estrous, ovarian and reproductive responses in sheep estrous synchronized with different prostaglandin-based protocols. *Animal*

Reproduction Science, 167, 74-82.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.02.009>

Fierro, S., Viñoles, C., & Olivera-Muzante, J. (2017). Long term prostaglandin based-protocols improve the reproductive performance after timed artificial insemination in sheep. *Theriogenology*, 90, 109-113.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.11.031>

Figuerola-Pérez, M., Romero-Gómez, S., Ramos-Gómez, M., & Reynoso-Camacho, R. (2016). Biological properties of phenolic compounds in the glucose control. *Digital ciencia@ uaqro*, 1-15.

Freitas-de-Melo, A., Ungerfeld, R., Orihuela, A., Hötzel, M. J., & Pérez-Clariget, R. (2018). Restricción alimenticia durante la gestación y vínculo madre-cría en ovinos: una revisión. *Veterinaria (Montevideo)*, 54(210), 27-36.
<https://doi.org/10.29155/vet.54.210.5>

Frías-Zepeda, M. E., & Rosales-Castro, M. (2021). Effect of extraction conditions on the concentration of phenolic compounds in Mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth) residues. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 27(3), 367-381.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.10.066>

FAOSTAT. (2021). Estadísticas de la producción de carne de ovino de México en 2019. Retrieved March 25, 2021, from <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

Galano, A., Mazzone, G., Alvarez-Diduk, R., Marino, T., Alvarez-Idaboy, J. R., & Russo, N. (2016). Food antioxidants: chemical insights at the molecular level. *Annual review of food science and technology*, 7(1), 335-352.
<https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033206>

Grazul-Bilska, A. T., Dorsam, S. T., Reyaz, A., Valkov, V., Bass, C. S., Kaminski, S. L., & Redmer, D. A. (2020). Follicle-stimulating hormone receptors expression in ovine corpora lutea during luteal phase: effect of nutritional plane and follicle-stimulating hormone treatment. *Domestic Animal*

Endocrinology, 71, 106391.
<https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.106391>

Gonzalez-Bulnes, A., Menchaca, A., Martin, G. B., & Martinez-Ros, P. (2020). Seventy years of progestagen treatments for management of the sheep oestrous cycle: Where we are and where we should go. *Reproduction, Fertility and Development*, 32(5), 441-452.
<https://doi.org/10.1071/RD18477>

González, S., & Luna-Tortós, C. (2017). Medroxiprogesterona acetato para la elaboración de dispositivos intravaginales caseros usados en la sincronización del estro en ovinos de pelo: Evaluación de su eficacia, sus efectos secundarios y comparación con un dispositivo comercial en hatos de Costa Rica. <http://dx.doi.org/10.15359/rcv.35-2.3>

González-Reyna, A., Martínez-González, J. C., Hernández-Meléndez, J., Lucero-Magaña, F. A., Castillo-Rodríguez, S. P., Vásquez-Armijo, J. F., & Parra-Bracamonte, G. M. (2020). Reproducción de ovinos de pelo en regiones tropicales de México. *Ciencia Agropecuaria*, (31), 182-199.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/309>

González-Ríos, H., Dávila-Ramírez, J. L., Peña-Ramos, E. A., Valenzuela-Melendres, M., Zamorano-García, L., Islava-Lagarda, T. Y., & Valenzuela-Grijalva, N. V. (2016). Dietary supplementation of ferulic acid to steers under commercial feedlot feeding conditions improves meat quality and shelf life. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 111-121.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.10.011>

Gunn, R.G., 1983. The influence of nutrition on the reproductive performance of Ewes. In *Sheep Production*, Haresign, W. (Ed). Butterworths, London, Pp. 99-110.

Hajibemani, A., Sheikhalislami, H., Shahrababak, M. J. B., Jozani, R. J., & Ommati, M. M. (2022). Effect of PGF2 α and GnRH administration on reproductive

- performance in Ghezel ewes. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*, 161, 106640. <https://doi.org/10.1016/j.prostaglandins.2022.106640>
- HARO, J. G. H. (2019). Caracterización de los rebaños ovinos en el sur de Ciudad de México, México. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2022>
- Hashem, N. M., El-Azrak, K. M., El-Din, A. N., Taha, T. A., & Salem, M. H. (2015). Effect of GnRH treatment on ovarian activity and reproductive performance of low-prolific Rahmani ewes. *Theriogenology*, 83(2), 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.09.016>
- Hashem, N. M., El-Azrak, K. M., El-Din, A. N., Sallam, S. M., Taha, T. A., & Salem, M. H. (2018). Effects of *Trifolium alexandrinum* phytoestrogens on oestrous behaviour, ovarian activity and reproductive performance of ewes during the non-breeding season. *Animal reproduction science*, 196, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.03.007>
- Hafez, E. S. E., & Hafez, B. (Eds.). (2013). *Reproduction in farm animals*. John Wiley & Sons.
- HERRERA HJG, Álvarez FG, Bárcena GR, Núñez AJM. 2022. Caracterización de los rebaños ovinos en el sur de Ciudad de México, México. *Acta Universitaria*. (29) (1):1-15. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2022>
- Herrera-Camacho, J., Ake-Lopez, J. R., Ku-Vera, J. C., Williams, G. L., & Quintal-Franco, J. A. (2008). Ovulatory response and embryo quality and development in superovulated Pelibuey ewes supplemented with polyunsaturated fatty acids in the diet. *Técnica Pecuaria en México*, 46(2). <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=f0ff66e4-9015-3d85-922f-368d03125feb>.
- Hernández-Marín, J. A. (2017). Contribución de la ovinocultura al sector pecuario en México. *Agro productividad*, 10(3). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/975>

- INEGI. (2022). RESULTADOS ADICIONALES DEL CENSO AGROPECUARIO 2022. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/CA_Adic/CA_Adic2024.pdf
- INEGI. (2022). COMIENZA EL CENSO AGROPECUARIO 2022 COAHUILA DE ZARAGOZA. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/CensoAgro2022/CA2022_Coah.pdf
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Isla Herrera, G. D. L., Aké López, J. R., Ayala Burgos, A., & González-Bulnes, A. (2010). Efecto de la condición corporal y la época del año sobre el ciclo estral, estro, desarrollo folicular y tasa ovulatoria en ovejas Pelibuey mantenidas en condiciones de trópico. *Veterinaria México*, 41(3), 167-175.
- Kensler, T. W., Wakabayashi, N., & Biswal, S. (2007). Cell survival responses to environmental stresses via the Keap1-Nrf2-ARE pathway. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.*, 47, 89-116. <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.46.120604.141046>
- Khan, T. H., Beck, N. F. G., & Khalid, M. (2009). The effect of hCG treatment on Day 12 post-mating on ovarian function and reproductive performance of ewes and ewe lambs. *Animal reproduction science*, 116(1-2), 162-168. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.01.010>
- Kiyama, R. (2019). Estrogenic activity of coffee constituents. *Nutrients*, 11(6), 1401. <https://doi.org/10.3390/nu11061401>
- Koycegiz, F., Emsen, E., Diaz, C. A. G., & Kutluca, M. (2009). Effects of lambing season, lamb breed and ewe parity on production traits of fat tailed sheep and their lambs. *Journal of Animal and Veterinary advances*, 8(1), 195-198.
- Kraisoon, A., Redmer, D. A., Bass, C. S., Navanukraw, C., Dorsam, S. T., Valkov, V., ... & Grazul-Bilska, A. T. (2018). Corpora lutea in superovulated ewes

- fed different planes of nutrition. *Domestic Animal Endocrinology*, 62, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2017.08.002>
- Kumar, N., & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology reports*, 24, e00370. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370>
- Lampiasi, N., & Montana, G. (2018). An in vitro inflammation model to study the Nrf2 and NF- κ B crosstalk in presence of ferulic acid as modulator. *Immunobiology*, 223(4-5), 349-355. <https://doi.org/10.1016/j.imbio.2017.10.046>
- León-Carmona, J. R., & Galano, A. (2011). Is caffeine a good scavenger of oxygenated free radicals?. *The journal of physical chemistry B*, 115(15), 4538-4546. <https://doi.org/10.1021/jp201383y>
- Lee, K. M., & Hyun, S. H. (2017). The beneficial effects of ferulic acid supplementation during in vitro maturation of porcine oocytes on their parthenogenetic development. *Journal of Embryo Transfer*, 32(4), 257-265. <https://doi.org/10.12750/JET.2017.32.4.257>
- López García, S. (2020). Sincronización de estros mediante protocolos largos usando CIDR reutilizados y diferentes dosis de eCG en ovejas (Master's thesis). <http://hdl.handle.net/10521/4325>
- López, J., Salinas, D., Baracaldo-Martínez, A., Gómez, C., Herrera-Ibatá, D., & Atuesta-Bustos, J. E. (2021). Efecto de la dosis de gonadotropina coriónica equina (eCG) asociada a protocolos cortos de sincronización de celo sobre el desempeño reproductivo de ovejas de pelo. *Revista de investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(1). <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i1.17775>
- Luo, Z., Li, M., Yang, Q., Zhang, Y., Liu, F., Gong, L., ... & Wang, M. (2022). Ferulic acid prevents nonalcoholic fatty liver disease by promoting fatty acid oxidation and energy expenditure in C57BL/6 mice fed a high-fat diet. *Nutrients*, 14(12), 2530. <https://doi.org/10.3390/nu14122530>

- Macías-Cruz, U., Perard, S., Vicente, R., Álvarez, F. D., Torrentera-Olivera, N. G., González-Ríos, H., ... & Avendaño-Reyes, L. (2014). Effects of free ferulic acid on productive performance, blood metabolites, and carcass characteristics of feedlot finishing ewe lambs. *Journal of animal science*, 92(12), 5762-5768. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8208>
- Macías-Cruz, U., Vicente-Pérez, R., López-Baca, M. A., González-Ríos, H., Correa-Calderón, A., Arechiga, C. F., & Avendano-Reyes, L. (2018). Effects of dietary ferulic acid on reproductive function and metabolism of pre-pubertal hairbreed ewes during the anestrous season. *Theriogenology*, 119, 220-224. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.07.012>
- Mancuso, C., & Santangelo, R. (2014). Ferulic acid: pharmacological and toxicological aspects. *Food and Chemical Toxicology*, 65, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.12.024>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 79(5), 727-747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- Marín, C. C. P., Huerta, L. G., & Arias, L. Á. Q. (2023). *Técnicas Reproductivas En Las Especies Animales: Manuales Clínicos de Veterinaria*. Elsevier Health Sciences.
- Martinez Gonzalez, S., Aguirre Ortega, J., GOMEZ DANES, A. A., Ruiz Felix, M., Lemus Flores, C., Macias Coronel, H., ... & RAMIREZ LOZANO, M. H. (2010). Tecnologías para mejorar la producción ovina en México. CONACYT. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/498>
- Martínez-González, E. G., Muñoz-Rodríguez, M., García-Muñiz, J. G., Santoyo-Cortés, V. H., Altamirano-Cárdenas, J. R., & Romero-Márquez, C. (2011). El fomento de la ovinocultura familiar en México mediante subsidios en activos: lecciones aprendidas. *Agronomía mesoamericana*, 22(2), 367-377. 10.15517/am.v22i2.11830

- Martinez, M. F., McLeod, B., Tattersfield, G., Smaill, B., Quirke, L. D., & Juengel, J. L. (2015). Successful induction of oestrus, ovulation and pregnancy in adult ewes and ewe lambs out of the breeding season using a GnRH+ progesterone oestrus synchronisation protocol. *Animal Reproduction Science*, 155, 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.01.010>
- Martinez-Ros, P., Astiz, S., Garcia-Rosello, E., Rios-Abellan, A., & Gonzalez-Bulnes, A. (2019). Onset of estrus and preovulatory LH surge and ovulatory efficiency in sheep after short-term treatments with progestagen-sponges and progesterone-CIDRs. *Reproduction in domestic animals*, 54(2), 408-411. <https://doi.org/10.1111/rda.13317>
- Martemucci, G., & D'Alessandro, A. G. (2010). Estrous and fertility responses of dairy ewes synchronized with combined short term GnRH, PGF2 α and estradiol benzoate treatments. *Small ruminant research*, 93(1), 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.05.001>
- Maurya V. P., Veerasamy, S., Singh, G., Samad, H., Dimple, V., Dangi, S., Sarkar, M., Kumar, P., & Naqvi, S. (2017). Significance of body condition scoring system to optimize sheep production. In V. Sejian, R. Bhatta, J. Gaughan, P. Malik, S. Nakvi, & R. Lal (Eds.) *Sheep Production Adapting to Climate Change* (pp. 389- 411). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4714-5_19
- Menchaca, A., Neto, C. D. S., & Cuadro, F. (2017). Estrous synchronization treatments in sheep: Brief update. *Rev Bras Reprod Anim*, 41(1), 340-344.
- Mbemya, G. T., Vieira, L. A., Canafistula, F. G., Pessoa, O. D. L., & Rodrigues, A. P. R. (2017). Reports on in vivo and in vitro contribution of medicinal plants to improve the female reproductive function. *Reprodução & Climatério*, 32(2), 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.recli.2016.11.002>
- Moshfegh, F., Baharara, J., Namvar, F., Zafar-Balanezhad, S., Amini, E., & Jafarzadeh, L. (2016). Effects of date palm pollen on fertility and

development of reproductive system in female Balb/C mice. *Journal of herbmed pharmacology*, 5(1), 23-28.

Moonmanee, T., & Yammuen-art, S. (2015). Relationships among feed intake, blood metabolites, follicle size and progesterone concentration in ewes exhibiting or not exhibiting estrus after estrous synchronization in the tropics. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 5, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.023>

Morales Ramírez, M., Vargas Estrada, D., Juárez Rodríguez, I., Pérez-Rivero, J. J., Sierra Reséndiz, A., Flores González, H. F., ... & Peña-Corona, S. I. (2022). Efectos de los fitoestrógenos en la fisiología reproductiva de especies productivas. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13(3), 803-829. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i3.5878>

Narayan, E., & Parisella, S. (2017). Influences of the stress endocrine system on the reproductive endocrine axis in sheep (*Ovis aries*). *Italian Journal of Animal Science*, 16(4), 640-651. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1321972>

Narasimhan, A., Chinnaiyan, M., & Karundevi, B. (2015). Ferulic acid exerts its antidiabetic effect by modulating insulin-signalling molecules in the liver of high-fat diet and fructose-induced type-2 diabetic adult male rat. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 40(8), 769-781. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0002>

National Research Council. (2011). *Guía para el cuidado y uso de animales de laboratorio*. Ediciones UC.

Naowaboot, J., Piyabhan, P., Tingpej, P., Munkong, N., Parklak, W., & Pannangpetch, P. (2018). Anti-insulin resistant effect of ferulic acid on high fat diet-induced obese mice. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 8(12), 604-608. 10.4103/2221-1691.248098

Noriega, J. A. G. (2016). Efecto de la suplementación dietaria de ácido ferúlico en el comportamiento productivo, calidad de la canal y carne de cerdo. MC

- tesis, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora, México.
<http://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/749>
- OECD-FAO. (2022). Agricultural Outlook 2022-2031. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/77c9d844-8d5e-4ba6-9655-3b2fbfc9bfc3/content>
- O'Connell, A. R., Hurst, P. R., Davis, G. H., McNatty, K. P., Taylor, S. L., & Juengel, J. L. (2013). An earlier rise in systemic progesterone and increased progesterone in the uterine vein during early pregnancy are associated with enhanced embryonic survival in the ewe. *Theriogenology*, 80(3), 269-274. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.04.006>
- Orozco Durán, K. E., Segura Correa, J., Herrera Ojeda, J., Herrera Camacho, J., & Bottini Luzardo, M. B. (2022). Body condition score at lambing did not affect the resumption of ovarian and estrous activity in lactating Pelibuey ewes. *Nova scientia*, 14(28). <https://doi.org/10.21640/ns.v14i28.2965>
- Pacheco, M. I. (2015). Obtención de ácido ferúlico a partir de un concentrado de la hidrólisis alcalina del maíz. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC México.
<http://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/91>
- Pérez-Rivero, J. J., Aguilar-Setién, A., Martínez-Maya, J. J., Pérez-Martínez, M., & Serrano, H. (2007). Los fitoestrógenos y el efecto de su consumo en diferentes órganos y sistemas de animales domésticos. *Agricultura Técnica*, 67(3), 325-331. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000300012>
- Purushotam Joshi (2022). Nutrition and Reproduction in Sheep. *Food & Agribusiness Management*, 3(2): 40-44.
<http://doi.org/10.26480/fabm.02.2022.40.44>
- Quintero Elisea, J. A. (2011). Comportamiento reproductivo en ovejas de pelo tratadas con acetato de fluorogestona (fga) y gonadotropina sérica de la

- yegua preñada (pmsg) en condiciones de trópico seco. DE PMSG, E. D. D. B. (2011). INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA).
- Quintero-Elisea, J. A., Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Correa-Calderón, A., González-Reyna, A., Lucero-Magaña, F. A., ... & Avendaño-Reyes, L. (2011). The effects of time and dose of pregnant mare serum gonadotropin (PMSG) on reproductive efficiency in hair sheep ewes. *Tropical Animal Health and Production*, 43(8), 1567-1573.
- Quintero, J., Olguín, H., Quezada, A., Janacua, H., Rivas, R., & Macías, U. (2015). Effect of hCG application on day 12 post-mating on the reproductive efficiency and plasmatic concentrations of progesterone in hair ewes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(4), 487-490. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193045908008.pdf>
- Ramírez-Reyes, D. S., Marín-Osorio, Y., Arzola-Hernández, M. P., Pérez, X. S., Gallegos-Sánchez, J., & Fraire-Cordero, S. (2021). Sheep reproductive management. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i8.2100>
- Rodríguez, V. A. A., & Ortiz, C. A. N. (2020). Alimentación de ovinos en regiones del trópico en Colombia. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 11(2), 71-108. <https://doi.org/10.22579/22484817.471>
- Romero, O., & Bravo, S. (2012). Fundamentos de la producción ovina en la Región de La Araucanía. pp 24-38.
- Russel, A. J. F., Doney, J. M., & Gunn, R. G. (1969). Subjective assessment of body fat in live sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 72(3), 451-454. <https://doi.org/10.1017/S0021859600024874>
- SADER. (2016). Programa de Fomento Ganadero. Componente: Productividad Pecuaria. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/programa-de-fomento-ganadero-componente-productividad-pecuaria>

- Salah, N., Sauvant, D., & Archimède, H. (2014). Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates: a meta-analysis. *Animal*, 8(9), 1439-1447. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001153>
- Salazar, C. S., & Jiménez, J. O. (2023). Consideraciones Bioéticas en el Manejo de Modelos Animales en Experimentación. *Revista Fesahancccal*, 9(1), 12-26. <https://revistafesahancccal.org/index.php/fesahancccal/article/view/83>
- SIAP. (2020). Avance por Estado. (México). http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceEdo.jsp
- SIAP. 2020. Base de Datos Producción Pecuaria [Anuario Estadístico de la Producción Ganadera]. In Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. México. http://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario
- SIAP. (2022). Panorama Agroalimentario 2020. (México). <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/download/6100/4866>
- SIAP. 2023. Base de Datos Producción Pecuaria [Anuario Estadístico de la Producción Ganadera]. In Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. México. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Silva, M. (2012). Uso de la combinación de melatonina y prostaglandinas para la sincronización del estro en ovejas de raza “rasa aragonesa” (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Zaragoza, España).
- Silva, T., Rocha, J. F., Machado, S., Rocha, R., Bennemann, P. E., & Bragança, J. F. (2014). A reutilização de um dispositivo intravaginal (CIDR-G) nas manifestações de estro e prenhez da espécie ovina. *Enciclopédia biosfera*, 10(18). <https://doi.org/10.53588/alpa.310505>
- Srinivasan, M., Sudheer, A. R., Pillai, K. R., Kumar, P. R., Sudhakaran, P. R., & Menon, V. P. (2006). Influence of ferulic acid on γ -radiation induced DNA damage, lipid peroxidation and antioxidant status in primary culture of

isolated rat hepatocytes. *Toxicology*, 228(2-3), 249-258.
<https://doi.org/10.1016/j.tox.2006.09.004>

Sompong, W., Cheng, H., & Adisakwattana, S. (2015). Protective effects of ferulic acid on high glucose-induced protein glycation, lipid peroxidation, and membrane ion pump activity in human erythrocytes. *Plos one*, 10(6), e0129495. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129495>

Stouffer, R. L., & Hennebold, J. D. *The Life Cycle of the Corpus Luteum* 1st ed. 2017 Edition. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397175-3.00023-5>

Swelum, A. A. A., Saadeldin, I. M., Moumen, A. F., Ali, M. A., Ba-Awadh, H., & Alowaimer, A. N. (2018). Efficacy of using previously used controlled internal drug release (CIDR) insert on the reproductive performance, hormone profiles and economic measures of sheep. *Reproduction in Domestic Animals*, 53(5), 1114-1122. <https://doi.org/10.1111/rda.13212>

Swelum, A. A. A., Saadeldin, I. M., Moumen, A. F., Ali, M., Ba-Awadh, H., & Alowaimer, A. N. (2019). Effects of long-term controlled internal drug release reuse on reproductive performance, hormone profiles, and economic profit of sheep. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48, e20180085. <https://doi.org/10.1590/rbz4820180085>

Tanihara, F., Hirata, M., Nhien, N. T., Hirano, T., Kuniyara, T., & Otoi, T. (2018). Effect of ferulic acid supplementation on the developmental competence of porcine embryos during in vitro maturation. *Journal of Veterinary Medical Science*, 80(6), 1007-1011. <https://doi.org/10.1292/jvms.18-0131>

Tapia, P. E., Silva, A. M., Delerue Matos, C., Moreira, M., Rodriguez, F., Ortega, M. G., ... & Alberto, M. R. (2022). Subproductos de la Industria Vitivinícola de los Valles Calchaquíes como Fuente de Metabolitos Bioactivos. <http://hdl.handle.net/11336/212413>

Truong, T. T., Soh, Y. M., & Gardner, D. K. (2016). Antioxidants improve mouse preimplantation embryo development and viability. *Human Reproduction*, 31(7), 1445-1454. <https://doi.org/10.1093/humrep/dew098>

- Tufarelli, V., Casalino, E., D'Alessandro, A. G., & Laudadio, V. (2017). Dietary phenolic compounds: biochemistry, metabolism and significance in animal and human health. *Current drug metabolism*, 18(10), 905-913. <https://doi.org/10.2174/1389200218666170925124004>
- Ungerfeld, R. (2016). Manejo de la estacionalidad reproductiva en pequeños rumiantes. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 111-116.
- Valadez-García, K. (2019). Adición dietaria de ácido ferúlico en corderos de pelo estresadas por calor: termorregulación, crecimiento, metabolismo y estrés oxidativo. In Mexicali, Baja California, México. Universidad Autónoma de Baja California. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/2531>
- Valadez-García, K. M., Avendaño-Reyes, L., Díaz-Molina, R., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., Correa-Calderón, A., & Macías-Cruz, U. (2021). Free ferulic acid supplementation of heat-stressed hair ewe lambs: Oxidative status, feedlot performance, carcass traits and meat quality. *Meat Science*, 173, 108395. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108395>
- Valadez-García, K. M., Avendaño-Reyes, L., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., Díaz-Molina, R., González-Ríos, H., & Macías-Cruz, U. (2021). Ferulic acid in animal feeding: mechanisms of action, productive benefits, and future perspectives in meat production. *Food Bioscience*, 43, 101247. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101247>
- Vatankhah, M., Talebi, M., & Zamani, F. (2012). Relationship between ewe body condition score (BCS) at mating and reproductive and productive traits in Lori-Bakhtiari Sheep. *Small Ruminant Research*, 106(2-3):105-109. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.02.004>
- Wang, Y., Meng, Z., Guo, J., Wang, W., Duan, Y., Hao, X., ... & Qi, J. (2019). Effect of wheat bran feruloyl oligosaccharides on the performance, blood metabolites, antioxidant status and rumen fermentation of lambs. *Small Ruminant Research*, 175, 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.04.006>

- Wang, Y., Wang, W., Wang, R., Meng, Z., Duan, Y., An, X., & Qi, J. (2019). Dietary supplementation of ferulic acid improves performance and alleviates oxidative stress of lambs in a cold environment. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(4), 705-712. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0200>
- Wang, Y., Qi, J. J., Yin, Y. J., Jiang, H., Zhang, J. B., Liang, S., & Yuan, B. (2023). Ferulic acid enhances oocyte maturation and the subsequent development of bovine oocytes. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(19), 14804. <https://doi.org/10.3390/ijms241914804>
- Whitten, P. L., & Patisaul, H. B. (2001). Cross-species and interassay comparisons of phytoestrogen action. *Environmental health perspectives*, 109(suppl 1), 5-20. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s15>
- Yin, Z. N., Wu, W. J., Sun, C. Z., Liu, H. F., Chen, W. B., Zhan, Q. P., ... & Hui, W. U. (2019). Antioxidant and anti-inflammatory capacity of ferulic acid released from wheat bran by solid-state fermentation of *Aspergillus niger*. *Biomedical and Environmental Sciences*, 32(1), 11-21. <https://doi.org/10.3967/bes2019.002>
- Wyse, C. A., Zhang, X., McLaughlin, M., Biello, S. M., Hough, D., Bellingham, M., ... & Evans, N. P. (2018). Circadian rhythms of melatonin and behaviour in juvenile sheep in field conditions: Effects of photoperiod, environment and weaning. *Physiology & Behavior*, 194, 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.06.001>
- Yupanqui Ccayacc, F. O. (2019). Evaluación de protocolos de sincronización de celo en ovejas en el distrito los Morochucos Cangallo-Ayacucho 2019. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5530>
- Zhao, Z., & Moghadasian, M. H. (2008). Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: A review. *Food Chemistry*, 109(4), 691-702. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.039>
- Zheng, Y. Z., Zhou, Y., Guo, R., Fu, Z. M., & Chen, D. F. (2020). Structure-antioxidant activity relationship of ferulic acid derivatives: Effect of ester

groups at the end of the carbon side chain. Lwt, 120, 108932.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108932>